

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

2017

Bc. Tomáš Běčák

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

**Zajištění bezpečnosti na komunikacích pomocí  
osvětlovacích soustav**

**Safety on the roads by using lighting systems**

2017

Bc. Tomáš Běčák

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Běčák**  
Studijní program: N2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika  
Téma: **Zajištění bezpečnosti na komunikacích pomocí osvětlovacích soustav**  
**Safety on the roads by using lighting systems**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- o Základní termíny spojené s viditelností na komunikacích
- o Rozbor norem řešících bezpečnost na komunikacích
- o Rozbor světelně technických parametrů na přechodech pro chodce
- o Modelování optimální osvětlovací soustavy pro osvětlení přechodu pro různé jasy pozadí
- o Vliv jasu pozadí na návrh osvětlení přechodu

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] Sokanský, K.: Světelná technika. ČVUT, Praha 2011
- [2] Habel, J.: Světlo a osvětlování. FCC Public, Praha 2013
- [3] Sborníky z Kurzů osvětlovací techniky, Sborníky VŠB-TU
- [4] Manuály k výpočetním programům (Relux, Dialux, WILS)

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

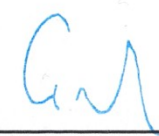
Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Karel Sokanský, CSc.**

Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017

  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry



  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

**Prohlášení studenta:**

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně.  
Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě, dne 6. 4. 2017



Bc. Běčák Tomáš

**Poděkování:**

„Na tomto místě bych velice rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Karlovi Sokanskému, CSc., a také Ing. Richardovi Balejovi za velmi cenné rady, připomínky a vytrvalost při řešení mé diplomové práce.“

**Abstrakt:**

Cílem této diplomové práce bylo zajistit zvýšení viditelnosti a tím spojené bezpečnosti chodců na přechodech pro chodce pomocí navržených osvětlovacích soustav. Jsou zde uvedeny tři kontrolní měření, z nichž jedno je provedeno na základě návrhu osvětlovací soustavy ve výpočtovém programu ReluxPro.

Pro každý z přechodů jsou v práci vyhodnoceny horizontální osvětlenosti a pro daný směr jízdy i udržované průměrné vertikální osvětlenosti přechodu, doplněny udržovanou rovnoměrností osvětlenosti pro každou část přechodu. Na dvou kontrolovaných přechodech byly pořízeny i jasové snímky, z nichž byla následně vyhodnocena i jasová analýza na přechodu v době, kdy chodec přes přechod přecházel. Vyhodnocení jasové analýzy je provedeno pomocí programu LMK LabSoft. Veškerá měření a následné vyhodnocení jsou provedena na základě normy ČSN 36 0455, přesněji předpisu TKP 15 dodatek č. 1.

V práci jsou v poslední řadě zdůrazněny i časté chyby, kterých je nutno se pro správný návrh osvětlovací soustavy pro přisvětlení přechodů pro chodce vyhnout.

**Klíčová slova:**

Osvětlovací soustava, přechod pro chodce, osvětlenost, jas, bezpečnost, chodec, pozitivní kontrast, negativní kontrast, viditelnost chodce, jasová analýza, přisvětlení přechodu, směr jízdy, návrh, řidič

**Abstract:**

This diploma thesis deals with increasing the visibility and it's connected with safety of pedestrians at crosswalk by using designed lighting systems as well. There are three control measurements performed in this thesis. One of them is based on the design of the lighting system in the ReluxPro calculation program.

In this thesis, horizontal illumination is evaluated for each of the crosswalks, and the average vertical illumination of the crosswalk is maintained for the given driving direction, supplemented by the maintained uniformity of illumination for each part of the pedestrian crossing. Luminance images were taken on two of the controlled pedestrian crossings from which the luminance analysis was also evaluated at the crosswalk when the pedestrian crossed over the pedestrian crossing. Luminance analysis is made by using the LMK LabSoft software. All measurements and subsequent evaluation are carried out on the basis of norm ČSN 36 0455, more precisely the TKP 15 Supplement No. 1.

This thesis also highlights the frequent mistakes that are needed to be avoided for the correct design of the lighting system for illuminating crosswalks.

**Keywords:**

Lighting system, pedestrian crossing/crosswalk, illumination, luminance, safety, pedestrian, positive contrast, negative contrast, the visibility of pedestrian, luminance analysis, illumination of crosswalk, design, driver

## Seznam použitých symbolů a zkratek:

### Symbols

$E$	osvětlenost	(lx)
$\phi$	světelný tok	(lm)
$L$	jas	(cd·m <sup>-2</sup> )
$I$	svítivost	(cd)
$\Omega$	prostorový úhel	(sr)
$\lambda$	vlnová délka	(nm)
$\phi_e$	zářivý tok	(W)
$K(\lambda)$	světelná účinnost monochromatického záření	(lm·W <sup>-1</sup> )
$K_m$	maximum veličiny $K(\lambda)$	(lm·W <sup>-1</sup> )
$V(\lambda)$	poměrná světelná účinnost monochromatického záření	(-)
$\gamma$	úhel vyzařování	(°)
$d\phi$	plošná hustota světelného toku	(lm)
$dA$	osvětlovaná plocha	(m <sup>2</sup> )
$d\Omega$	jednotkový prostorový úhel	(sr)
$A$	plocha vytáta na povrchu koule	(m <sup>2</sup> )
$r$	poloměr koule	(m)
$L_a$	jas pozorovaného předmětu (rozlišovaného detailu)	(cd·m <sup>-2</sup> )
$L_b$	jas pozadí (okolí)	(cd·m <sup>-2</sup> )
$C$	kontrast jasu	(-)
$GR$	oslnění	(-)
$L_{vc}$	celkový závojový jas způsobený osvětlovací soustavou	(cd·m <sup>-2</sup> )
$L_{ve}$	ekvivalentní závojový jas pozadí	(cd·m <sup>-2</sup> )
$L_v$	závojový jas svítidla	(cd·m <sup>-2</sup> )
$E_{eye}$	osvětlenost oka pozorovatele v rovině kolmé na směr pohledu	(lx)
$\Theta$	úhel mezi směrem pohledu a směrem světla dopadajícího od svítidla	(°)
$\rho$	průměrný činitel odrazu	(-)
$E_{hav}$	průměrná horizontální osvětlenost prostoru	(lx)
$\pi$	matematická konstanta – Ludolfovo číslo	(-)
$\phi_p$	světelný tok odražený	(lm)
$\phi_t$	světelný tok, který látkou projde	(lm)
$\phi_a$	světelný tok pohlcený	(lm)
$\rho(\lambda)$	spektrální činitel odrazu	(-)
$\tau(\lambda)$	spektrální činitel prostupu	(-)
$\alpha(\lambda)$	spektrální činitel pohlcení	(-)
$\rho$	integrální činitel odrazu	(-)
$\tau$	integrální činitel prostupu	(-)
$\alpha$	integrální činitel pohlcení	(-)

$V(\lambda)$	spektrální citlivost lidského oka	$(W \cdot m^{-2} \cdot lm^{-1})$
$\eta$	měrný výkon světelného zdroje	$(lm \cdot W^{-1})$
$P$	elektrický příkon světelného zdroje	$(W)$
$T_C$	náhradní teplota chromatičnosti	$(K)$
$R_a$	všeobecný index podání barev	$(-)$
$T$	životnost světelného zdroje	$(hod)$
$T_U$	užitečný život světelného zdroje	$(hod)$
$T_F$	fyzický život světelného zdroje	$(hod)$
$T_P$	průměrný život světelného zdroje	$(hod)$
$z$	udržovací činitel	$(-)$
$z_z$	činitel stárnutí světelného zdroje	$(-)$
$z_s$	činitel znečištění svítidel	$(-)$
$z_p$	činitel znečištění ploch osvětlovaného prostoru	$(-)$
$z_{fs}$	činitel funkční spolehlivosti světelných zdrojů	$(-)$
$l$	měrný výkon svítidla	$(lm \cdot W^{-1})$
$\phi_{SV}$	světelný tok svítidla	$(lm)$
$P_{SV}$	příkon svítidla	$(W)$
$\phi_Z$	světelný tok světelného zdroje	$(lm)$
$\eta_{SV}$	účinnost svítidla	$(-)$
$P_{zd}$	elektrický příkon světelného zdroje	$(W)$
$P_{pz}$	elektrický příkon předřadných zařízení	$(W)$
$\phi_{ZTR}$	světelný tok ztracený při optickém zpracování	$(lm)$
$L_\gamma$	jas svítidel	$(cd \cdot m^{-2})$
$I_\gamma$	svítivost svazku světelných paprsků (svítící plochy)	$(cd)$
$A$	velikost svítící plochy viditelné pozorovatelem	$(m^2)$
$\gamma$	úhel, o který je viděná plocha natočena od kolmice k ose pohledu	$(^\circ)$
$C - \gamma$	soustava fotometrických rovin	$(^\circ)$
$\delta$	úhel clonění	$(^\circ)$
$Q_0$	průměrný součinitel jasu	$(lx \cdot cd \cdot m^{-2})$
ULOR	maximální horní účinnost svítidla v návrhové poloze	$(\%)$
$E_m$	průměrná udržovaná hodnota vertikální osvětlenosti	$(lx)$
$E_{m0}$	průměrná naměřená hodnota vertikální osvětlenosti	$(lx)$
$u$	rovnoměrnost osvětlenosti	$(-)$
$E_{min\ 0}$	minimální naměřená hodnota vertikální osvětlenosti	$(lx)$
$U_0$	rovnoměrnost osvětlenosti	$(-)$
$K$	kontrast	$(-)$
$L_{CH}$	jas chodce	$(cd \cdot m^{-2})$
$L_P$	jas pozadí	$(cd \cdot m^{-2})$
$L_{PŘ}$	jas přechodu	$(cd \cdot m^{-2})$

## **Zkratky**

TKP 15	technické kvalitativní požadavky kapitola 15
VO	veřejné osvětlení
V7	dopravní značení přechodu pro chodce
IP	stupeň krytí optických částí svítidla
AP	adaptační pásmo
JP	jízdní pruh
PP	prodloužený prostor
DP	doplňkový prostor
S	šířka jízdního pruhu
CIE – GR	Glare Rating method (metoda hodnocení oslnění)



## Obsah:

<b>1 Úvod .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Základní termíny spojené s viditelností na komunikacích.....</b>	<b>2</b>
2.1 Světelně technické veličiny .....	2
2.1.1 Světelný tok $\Phi$ .....	2
2.1.2 Svítivost I .....	3
2.1.3 Osvětlenost E.....	4
2.1.4 Prostorový úhel $\Omega$ .....	4
2.1.5 Jas svazku světelných paprsků L .....	5
2.2 Akomodace oka .....	5
2.3 Adaptační mechanismy .....	6
2.4 Zorné pole.....	6
2.5 Rozlišovací schopnost oka.....	7
2.6 Spektrální citlivost lidského zraku .....	7
2.7 Oslnění.....	8
2.8 Veličiny charakterizující světelně technické vlastnosti materiálů.....	9
2.9 Zajištění viditelnosti účastníků dopravy .....	10
2.9.1 Odraznost materiálu oděvu chodce .....	10
2.9.2 Způsoby zvýšení viditelnosti na přechodech pro chodce .....	11
<b>3 Rozbor norem řešících bezpečnost na komunikacích .....</b>	<b>13</b>
3.1 Popis předpisu TKP 15.....	13
3.2 Ochrana nočního prostředí.....	13
3.3 Základní termíny a definice spojené s přechodem pro chodce .....	14
<b>4 Rozbor světelně technických parametrů na přechodech pro chodce .....</b>	<b>17</b>
4.1 Světelně technické parametry světelných zdrojů .....	17
4.2 Světelně technické parametry svítidel .....	20
<b>5 Vliv jasu pozadí na návrh osvětlení přechodu pro chodce.....</b>	<b>24</b>
5.1 Kontrast a jasové poměry na přechodu pro chodce.....	24
5.2 Udržovaný jas pozemní komunikace.....	25
5.3 Zřizování adaptačních pásem.....	25
<b>6 Modelování optimální osvětlovací soustavy pro osvětlení přechodu pro různé jasy pozadí .....</b>	<b>27</b>
6.1 Rozbor problematiky osvětlování přechodů pro chodce .....	27

6.2 Návrh měřicích bodů osvětlovací soustavy na přechodu.....	28
6.3 Doplnkové osvětlení – přisvětlení přechodu pro chodce.....	29
6.4 Chyby při umístění svítidel na přechodech pro chodce .....	29
6.5 Požadavky na umístění svítidel pro správný návrh osvětlovací soustavy – vytvoření pozitivního kontrastu chodce .....	30
<b>7 Ověření správnosti navržené osvětlovací soustavy.....</b>	<b>32</b>
7.1 Kontrolní měření na přechodu ve Valašském Meziříčí .....	32
7.1.1 Popis navržené venkovní osvětlovací soustavy - Použitá technologie.....	33
7.1.2 Postup měření .....	33
7.1.3 Naměřené a vypočtené hodnoty osvětleností na přechodu.....	34
7.1.4 Vertikální osvětlenosti .....	34
7.1.5 Horizontální osvětlenosti.....	35
7.1.6 Výsledky měření horizontální a vertikální osvětlenosti přechodu.....	36
7.1.7 Jasová analýza chodce na přechodu pro chodce .....	37
7.1.8 3D světelná scéna prostoru ve výpočtovém programu ReluxPro .....	37
<b>8 Ověření správnosti navržené osvětlovací soustavy - Kontrolní měření na přechodech u obchodního centra Avion .....</b>	<b>39</b>
8.1 Popis navržené venkovní osvětlovací soustavy - použitá technologie .....	40
8.2 Postup měření .....	40
8.3 Naměřené a vypočtené hodnoty osvětleností na přechodu - Kika .....	41
8.3.1 Vertikální osvětlenosti .....	41
8.3.2 Horizontální osvětlenosti.....	41
8.3.3 Výsledky měření horizontální a vertikální osvětlenosti přechodu.....	42
8.4 Jasová analýza chodce na přechodu pro chodce – prodejna Kika.....	43
8.4.1 Nastavení jasového analyzátoru .....	43
8.4.2 Jasová analýza chodce na přechodu pro chodce .....	43
8.5 Naměřené a vypočtené hodnoty osvětleností na přechodu - Decathlon .....	44
8.5.1 Vertikální osvětlenosti .....	44
8.5.2 Horizontální osvětlenosti.....	45
8.5.3 Výsledky měření horizontální a vertikální osvětlenosti přechodu.....	46
8.6 Jasová analýza chodce na přechodu pro chodce – prodejna Decathlon .....	47
8.6.1 Nastavení jasového analyzátoru .....	47
8.6.2 Jasová analýza chodce na přechodu pro chodce ve směru jízdy 1.....	47

8.6.3 Jasová analýza chodce na přechodu pro chodce ve směru jízdy 2.....	48
8.7 Použité měřicí přístroje při měřeních .....	50
<b>9 Závěr .....</b>	<b>51</b>
<b>10 Literatura .....</b>	<b>54</b>
<b>11 Přílohy .....</b>	<b>56</b>
Fotodokumentace z terénu – přechod Valašské Meziříčí .....	56
Fotodokumentace z terénu – přechod Kika.....	56
Fotodokumentace z terénu – přechod Decathlon .....	57
Fotodokumentace z terénu – úprava výložníků.....	58

## 1 Úvod

Tato diplomová práce vznikla za účelem zvýšení bezpečnosti na komunikacích, přesněji na přechodech pro chodce, pomocí navržených osvětlovacích soustav na těchto přechodech. V současné době s rostoucí automobilovou dopravou patří právě přechody pro chodce mezi jedny z nejnebezpečnějších míst v městské dopravě a proto je nutno se touto problematikou za účelem zvýšení bezpečnosti obyvatel města zabývat.

Problematickou přisvětlování přechodů se již zabývá mnoho renomovaných firem, avšak i ony se dopouštějí často klasických chyb při návrhu polohy svítidla pro přisvětlení vzhledem k přechodu. I tyto chyby při umisťování svítidel jsou v této práci zdůrazněny a jsou uzpůsobeny správné variantě při umisťování svítidel na přechodech pro chodce.

V práci jsou uvedeny tři kontrolní měření na vybraných přechodech pro chodce, z nichž jedno je provedeno na základě návrhu ve výpočtovém programu ReluxPro. Za pomoci tohoto softwaru byla vytvořena i 3D světelná scéna přechodu, kde byla pro přisvětlení využita svítidla s asymetrickou křivkou svítivosti, která je pro osvětlování přechodů ideálním řešením. Měřené přechody se nacházejí ve Valašském Meziříčí na ulici Šenovská a v blízkosti obchodního centra Avion Shopping Park v Ostravě, přesněji před prodejnou Kika a další vedle prodejny Decathlon.

Zdokonalováním technologií a z důvodu finanční úspory se v současné době začínají přechody pro chodce přisvětlovat pomocí LED světelných zdrojů, které disponují mezi současnými světelnými zdroji nejlepšími světelně technickými parametry. Tedy i zde se jedná o kontrolní měření, u nichž bylo využito LED světelných zdrojů světla pro přisvětlení přechodů.

Všechna měření a následné vyhodnocení je provedeno na základě normy ČSN 36 0455, přesněji předpisu TKP 15 dodatek č. 1. Na měřených přechodech jsou vyhodnocovány horizontální osvětlenosti a pro daný směr jízdy i udržované průměrné vertikální osvětlenosti přechodu, doplněny udržovanou rovnoměrností osvětlenosti pro každou část přechodu. Na dvou kontrolovaných přechodech byly pořízeny i jasové snímky, z nichž se vyhodnotila i jasová analýza na přechodu v době, kdy chodec přes přechod přecházel.

Velká část práce se zabývá problematikou kontrastů, neboť kontrast jasů pozorovaných objektů je právě to, na co reaguje lidské oko. V tomto případě se požaduje, aby řidič správně a včas zareagoval na chodce nacházejícího se v jeho zorném poli. Přisvětlení přechodu pro chodce tedy musí zajistit zvýšení jasů oděvu chodce vůči pozadí, před kterým se chodec nachází. K tomuto vyhodnocení slouží tedy již zmíněná jasová analýza, která byla provedena v této práci pomocí programu LMK LabSoft.

V současné době je drtivá většina přechodů pro chodce osvětlena nesprávně a proto lze tuto diplomovou práci považovat za jakýsi návod na to, jak přechody pro chodce osvětlovat tím správným způsobem a zajistit tak bezpečnost chodcům využívajících tyto přechody.

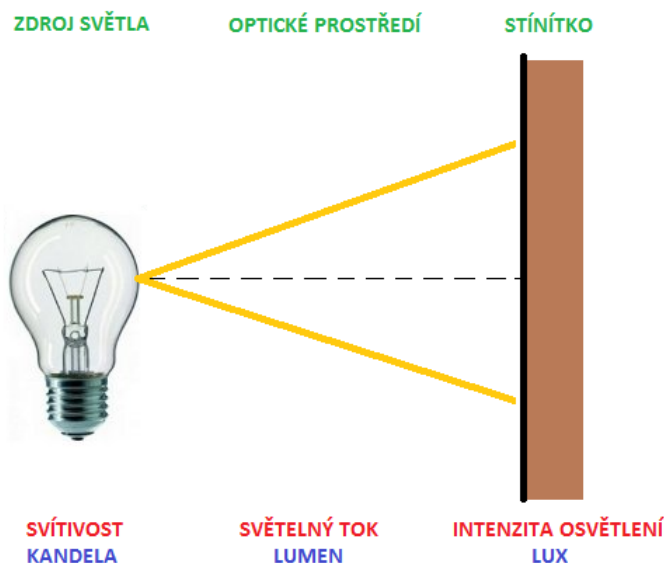
## 2 Základní termíny spojené s viditelností na komunikacích

K řešení tohoto problému je potřebné nejdříve definovat základní světelně-technické veličiny související se zajištěním bezpečnosti na komunikacích. Tato kapitola dále obsahuje popis akomodačních a adaptačních mechanismů lidského oka, s tím související rozlišovací schopnost a spektrální citlivost lidského zraku a v neposlední řadě i princip vnímání zorného pole. Pro zajištění viditelnosti a zvýšení bezpečnosti chodců jsou zde dále probrány veličiny charakterizující světelně technické vlastnosti materiálů oděvů chodců a způsoby, kterými lze docílit zvýšení viditelnosti chodce.

### 2.1 Světelně technické veličiny

Pro proces vidění není důležitá energie vyzářená světelným zdrojem za určitý čas, ale rozhodující je výkon, tedy zářivý tok zdrojů a zejména jeho prostorové rozdělení. Při hodnocení kvality osvětlení se posuzuje, do jaké míry napomáhá osvětlení postupu přijetí a zpracování informace přinášené světlem a usnadňuje proces vidění a vznik zrakového vjemu. Z tohoto důvodu se ve světelné technice neposuzují energetické veličiny, ale pracuje se s fotometrickými pojmy a veličinami, které respektují různou citlivost oka pozorovatele k záření různých vlnových délek. Pro zajištění jednotnosti světelně technických výpočtů je počítáno s hodnotami spektrální citlivosti lidského oka.

[1]



obr. 2.1: Světelně technické veličiny

#### 2.1.1 Světelný tok $\phi$

Světelný tok  $\phi$  představuje zářivý tok  $\phi_e$ , jenž je posuzován ze strany citlivosti lidského oka. Tato veličina nám říká, kolik světelné energie vyzáří zdroj do svého okolí. Jednotkou světelného toku je lumen (lm). Zářivý tok představuje velikost výkonu, které záření přenáší, vysílá nebo přijímá. Pokud se jedná o záření spojitě (tzn. není monochromatické), pak se zářivý tok určuje dle vztahu:

$$\Phi_e = \int_0^{\infty} \Phi_{e\lambda}(\lambda) d\lambda = \int_0^{\infty} \frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} d\lambda \cong \sum_{i=1}^n (\Phi_{e\lambda})_i \Delta\lambda_i \quad (\text{W}) \quad (2.1)$$

kde  $\frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda}$  - spektrální hustota zářivého toku  $\Phi_e$  ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$ )

V případě, že se jedná o čárové spektrum záření, kdy známe jednotlivé hustoty zářivého toku monochromatických záření, je celkový zářivý tok dán jako suma všech těchto monochromatických toků.

$$\Phi_e = \sum_{i=1}^n \Phi_{ei}(\lambda_i) \quad (\text{W}) \quad (2.2)$$

kde  $\Phi_e$  - celkový zářivý tok (W);  $\Phi_{ei}$  - zářivý tok jednotlivých spektrálních čar záření (W).

Pro výpočet světelného toku  $\Phi$  je potřeba znát poměrnou světelnou účinnost viditelného záření  $V(\lambda)$ . Ta se vypočte následovně:

$$V(\lambda) = \frac{K(\lambda)}{K_m} = \frac{K(\lambda)}{683} \quad (-; \text{lm} \cdot \text{W}^{-1}, \text{lm} \cdot \text{W}^{-1}) \quad (2.3)$$

Veličina  $K(\lambda)$  je světelná účinnost monochromatického záření, která je rovna poměru světelného toku a jeho odpovídajícího zářivého toku. Maximum  $K_m$  veličiny  $K(\lambda)$  bylo stanoveno poměrně přesnými výpočty a měřeními pro normálního fotometrického pozorovatele při fotopickém vidění a záření základní vlnové délky  $\lambda = \lambda_m = 555 \text{ nm}$  a je rovno  $K_m = 683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ .

Dále je možno vypočítat světelný tok dle následujícího vztahu:

$$\Phi(\lambda) = K(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda) = K_m V(\lambda) \cdot \Phi_e = 683 V(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda) \quad (\text{lm}; \text{lm} \cdot \text{W}^{-1}, -, \text{W}) \quad (2.4)$$

Je-li znám průběh závislosti zářivého toku na vlnové délce  $\Phi_e(\lambda)$  pak se světelný tok vypočítá:

$$\Phi = 683 \int_0^{\infty} \left( \frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} \right)_{\lambda} V(\lambda) d\lambda \quad (\text{W}) \quad (2.5)$$

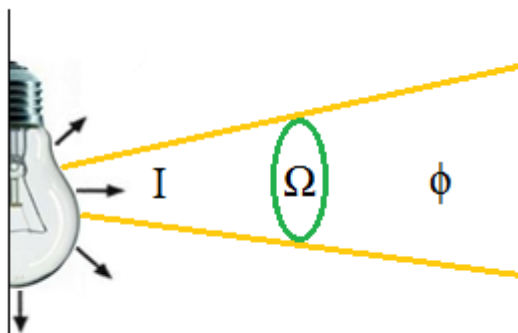
[1] [5]

### 2.1.2 Svítivost I

Svítivost je prostorová hustota světelného toku. Jednotkou je 1 kandela (cd). Svítivost lze stanovit pouze pro bodový zdroj, to znamená pro zdroj, jehož rozměry jsou zanedbatelné v porovnání se vzdáleností zdroje od kontrolního bodu. Svítivost  $I_\gamma$  od bodového zdroje ve směru určeného

úhlem  $\gamma$  je rovna světelnému toku, který je obsažen v jednotkovém prostorovém úhlu. Tato je definována vztahem

$$I_{\gamma} = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (\text{cd; lm, sr}) \quad (2.6)$$



**obr. 2.2:** Definice svítivosti

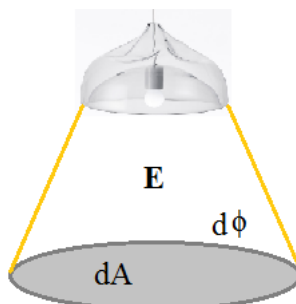
Kde  $d\Omega$  je prostorový úhel, jehož osa je položena ve směru určeném úhlem  $\gamma$  a v jehož mezích uvažovaný zdroj vyzařuje světelný tok  $d\Phi$ .

[1]

### 2.1.3 Osvětlenost E

Osvětlenost (také označovaná jako intenzita osvětlení) E je definovaná jako plošná hustota světelného toku  $d\Phi$  dopadajícího na osvětlovanou plochu  $dA$  a je dána vztahem

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (\text{lx; lm, m}^2) \quad (2.7)$$



**obr. 2.3:** Definice osvětlenosti

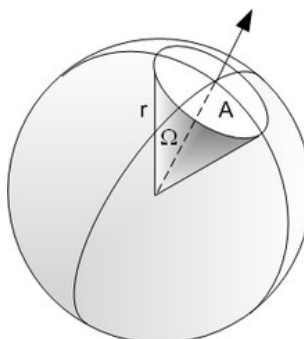
Jednotkou osvětlenosti je 1 lux (lx).

[1]

### 2.1.4 Prostorový úhel $\Omega$

Velikost prostorového úhlu je určena velikostí plochy vytřáté obecnou kuželovou plochou na povrchu jednotkové koule, jejíž střed (vrchol prostorového úhlu) je totožný s vrcholem uvažované kuželové plochy. Prostorový úhel  $\Omega$ , pod nímž je ze středu koule o poloměru  $r$  vidět plocha A vytřátá na povrchu této koule je stanoven ze vztahu

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \quad (\text{sr}; \text{m}^2, \text{m}) \quad (2.8)$$

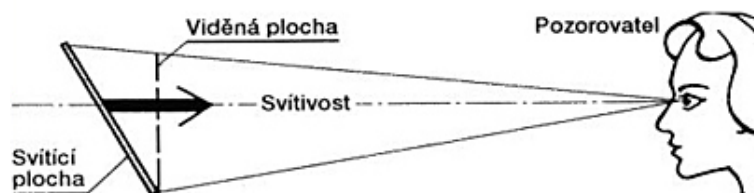


obr. 2.4: Definice prostorového úhlu [9]

Jednotkou prostorového úhlu je 1 steradián (sr).

[1]

### 2.1.5 Jas svazku světelných paprsků L



obr. 2.5: Definice jasu [10]

Jedná se o veličinu obecně určenou prostorovou a plošnou hustotou světelného toku přenášeného paprsky, na kterou bezprostředně reaguje zrakový orgán. Jas svazku světelných paprsků je vždy vázán na určitý směr. Jednotkou jasu je 1 kandela na metr čtverečný ( $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ ).

$$L = \frac{d^2 \Phi}{d\Omega \cdot dA_n} \quad (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}; \text{lm}, \text{sr}, \text{m}^2) \quad (2.9)$$

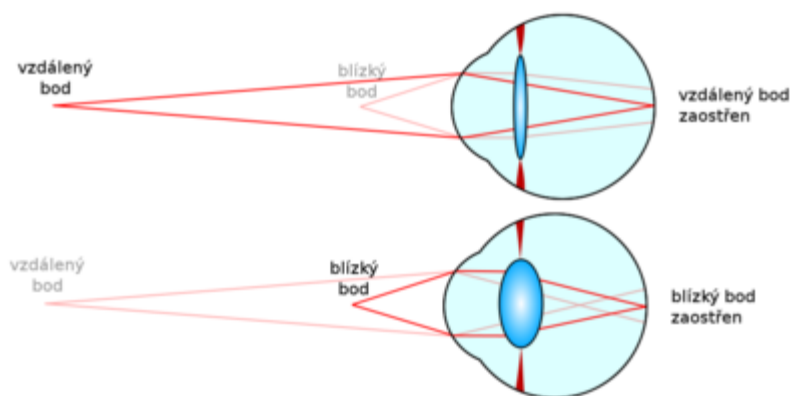
[1]

## 2.2 Akomodace oka

Je schopnost oka přizpůsobit ložovitost optických prostředí oka vidění do blízka změnou zakřivení hlavně přední, ale i zadní stěny čočky. Tato změna zakřivení je způsobena stahováním ciliárního svalu tzv. řasnatého tělíska. Tímto se mění ohnisková vzdálenost oka, případně její převrácená hodnota, nazývaná optická mohutnost, která je měřená v dioptriích. Rozsah akomodace oka je dán blízkým a vzdáleným bodem akomodace. Jedná se tedy o zaostřené zobrazení pozorovaného předmětu na sítnici.

[1]





obr. 2.6: Princip akomodace oka [11]

## 2.3 Adaptační mechanismy

Adaptace oka spočívá v přizpůsobení se oka různým hladinám osvětlenosti. Lidské oko je schopné přizpůsobit se osvětleností v rozmezí asi od 0,25 lx až do  $10^5$  lx.

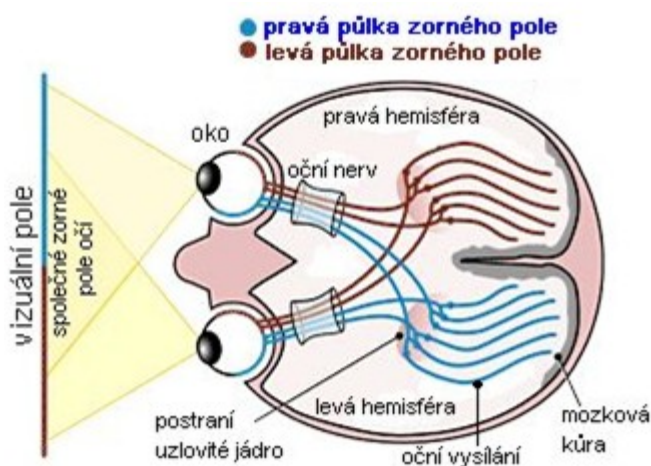
Těmto velkým změnám osvětlenosti se oko přizpůsobuje jednak změnou citlivosti zornice, nebo změnou citlivostí fotoreceptorů a též změnou velikostí vjemových polí sítnice.

[1]

## 2.4 Zorné pole

Jedná se o část prostoru, kterou může pozorovatel postřehnout upřeným pohledem bez pohybu oka a hlavy. Člověk vidí přesně v úhlovém rozsahu asi  $8^\circ$  ve vodorovné rovině a asi  $6^\circ$  ve svislé rovině. Největší ostrost vidění je asi v rozsahu  $1,5^\circ$ . Část zorného pole v okolí pozorovaného předmětu mezi vrcholovými úhly v rozmezí od  $20^\circ$  do  $60^\circ$  se nazývá pozadí.

[1]



obr. 2.7: Princip zorného pole [12]

## 2.5 Rozlišovací schopnost oka

Zrakové rozlišení předmětů či detailů je založeno na schopnosti oka rozeznat, že z určitých částí zorného pole vycházejí rozdílné světelné podněty, tzn. schopnost zhodnotit jasnost rozlišovaných detailů.

Jasnost je vlastnost zrakového počítku, tzn. psychosensorický pojem. Dá se tedy přibližně říci, že fyzikálním protějškem jasnosti je fotometrická veličina jas.

Pozorovatel ve svém zorném poli rozlišuje navzájem takové předměty, které mají dostatečné rozdílné jasy, případně barvy (kontrast jasů nebo barev).

Za předpokladu rovnoměrného jasu rozlišovaného detailu ( $L_a$ ) a jasu jeho okolí, popř. pozadí ( $L_b$ ) lze charakterizovat stupeň rozeznatelnosti kontrastem jasu

$$C = \frac{|L_a - L_b|}{L_b} = \frac{|\Delta L|}{L_b} \quad (-; \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}, \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (2.10)$$

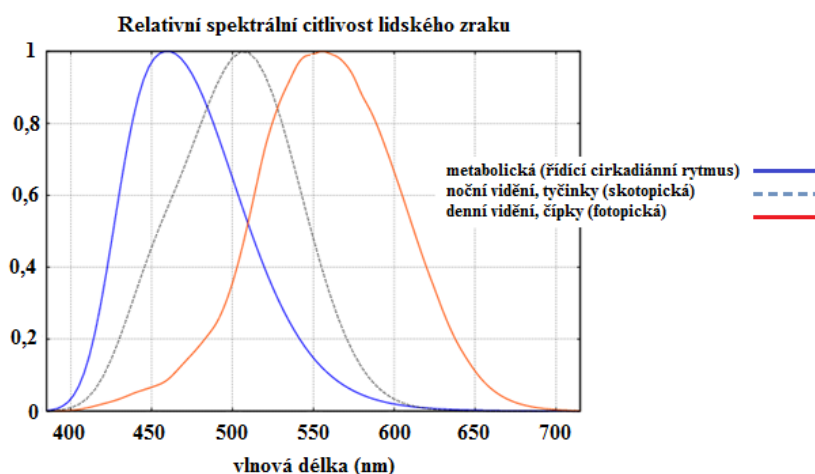
Nejmenší rozlišitelný rozdíl jasů se nazývá práh rozlišitelnosti jasu a jemu odpovídající kontrast je pak prahový kontrast. [1]

## 2.6 Spektrální citlivost lidského zraku

Zrakový orgán je různě citlivý na záření různých vlnových délek. Největší citlivost oka při dobrém osvětlení je určena citlivostí čípků a při fotopickém vidění se nejčastěji pohybuje okolo vlnové délky 555 nm.

Při skotopickém vidění se maximum křivky posouvá ke kratším vlnovým délkám (asi 507 nm), neboť při nízkých hladinách jasů se uplatňují převážně tyčinky. Z průběhů čar křivek poměrné spektrální citlivosti je patrné, že se při přechodu od fotopického vidění ke skotopickému snižuje jasnost červených ploch a naopak roste jasnost ploch modrých. Nastává tzv. Purkyňův jev.

Křivka spektrální citlivosti čidel cirkadiánní soustavy vykazuje maximum v oblasti vlnových délek 460 až 465 nm. Citlivost těchto receptorů je v porovnání s křivkami spektrální citlivosti čípků a tyčinek soustředěna více do oblasti kratších vlnových délek. [1]

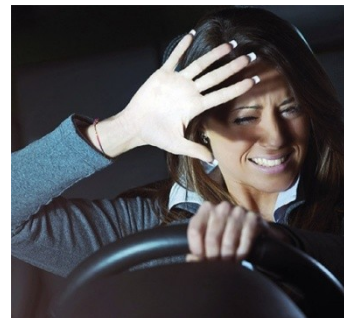


obr. 2.8: Křivky poměrné spektrální citlivosti lidského zraku [6]

## 2.7 Oslnění

Oslnění vzniká, vyskytují-li se v zorném poli oka příliš velké jasy nebo jejich rozdíly, popřípadě vzniknou-li velké prostorové či časové kontrasty jasů výrazně překračující meze adaptability zraku. Jedná se tedy o nepříznivý stav zraku, k němuž dojde, je-li sítnice nebo její část vystavena vyššímu jasů, než na který je oko adaptováno.

Podle příčin vzniku se rozlišuje oslnění přímé, které je způsobeno nadměrným jasnem svítících částí svítidel nebo hlavních povrchů posuzovaného prostoru. Dále oslnění odrazem, jenž je způsobeno odrazy svítících ploch na lesklých částech pozorovaných předmětů a jejich bezprostředního okolí. Při náhlé změně adaptačního jasu, na které se oko nestačí dostatečně rychle adaptovat je oslnění přechodové. Zvláštním případem je oslnění závoje, které vznikne, je-li před pozorovaným pozadím prostřední s vyšším jasnem např. při mlze před světlomety.



obr. 2.9: Ukázka oslnění [13]

[1]

Omezit oslnění uživatelů je velmi důležité, aby se předešlo únavě a z toho plynoucím chybám popřípadě nehodám. Zvláště je potřeba vyhnout se oslnění při směru pohledu nad horizont.

Přímé oslnění svítidly venkovních osvětlovacích soustav se určuje metodou CIE – GR (CIE – Glare Rating method), jenž vychází z rovnice:

$$GR = 27 + 24 \cdot \log_{10} \left( \frac{L_{vc}}{L_{ve}^{0,9}} \right) \quad (-; \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}, \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (2.11)$$

kde

GR – oslnění (-)

$L_{vc}$  – celkový závoje jas způsobený osvětlovací soustavou, jedná se o součet jednotlivých závoje jasů všech svítidel  $L_{vc} = L_{v1} + L_{v2} + L_{vn}$  ( $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ )

$L_{ve}$  – ekvivalentní závoje jas pozadí ( $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ )

Závoje jas svítidla se určuje dle vztahu:

$$L_v = 10 \cdot \left( \frac{E_{eye}}{\Theta^2} \right) \quad (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (2.12)$$

$L_v$  – závoje jas svítidla ( $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ )

$E_{eye}$  – osvětlenost oka pozorovatele v rovině kolmé na směr pohledu (lx) ( $2^\circ$  pod vodorovný směr)

$\Theta$  - úhel mezi směrem pohledu a směrem světla dopadajícího od svítidla ( $^\circ$ )

Za předpokladu, že je odraz pozadí rovnoměrně rozptýlný, lze definovat tzv. ekvivalentní závojový jas vztahem:

$$L_{ve} = 0,035 \cdot \left( \frac{\rho \cdot E_{hav}}{\pi} \right) \quad (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (2.13)$$

$L_{ve}$  – ekvivalentní závojový jas ( $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ )

$\rho$  – průměrný činitel odrazu (-)

$E_{hav}$  – průměrná horizontální osvětlenost prostoru (lx)

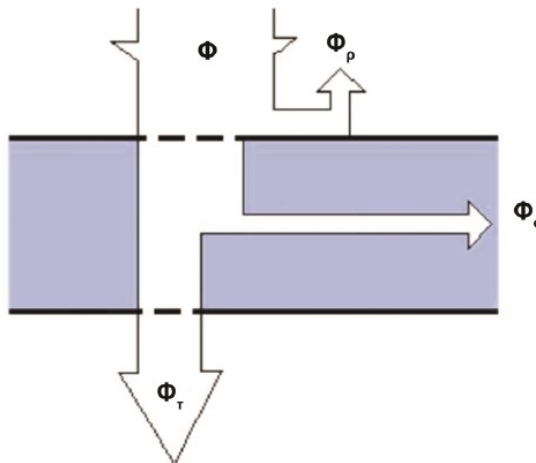
[5]

## 2.8 Veličiny charakterizující světelně technické vlastnosti materiálů

Optické vlastnosti materiálů jsou důležité zejména pro návrh a konstrukci světelně činných částí různých zařízení s ohledem na možnosti usměrnění světelného toku, dále jeho rozptylu a případně omezení jasů v určitých směrech. To vše při zachování co nejvyšší účinnosti. Světelný tok  $\Phi$  dopadající na uvažovaný materiál se v obecném případě dělí na tři části. První z nich je část  $\Phi_p$ , která se odrazí, druhá část  $\Phi_\tau$ , která látkou projde a část  $\Phi_\alpha$ , kterou látka pohltí.

Platí tedy vztah

$$\Phi = \Phi_p + \Phi_\tau + \Phi_\alpha \quad (\text{lm}; \text{lm}, \text{lm}, \text{lm}) \quad (2.14)$$



**obr. 2.10:** Rozložení světelného toku v závislosti na činiteli odrazu, prostupu a pohlcení [5]

K popisu světelně technických vlastností materiálů se používají tři základní činitele, tj.:

- spektrální činitel odrazu  $\rho(\lambda)$
- spektrální činitel prostupu  $\tau(\lambda)$
- spektrální činitel pohlcení  $\alpha(\lambda)$

Pro tyto spektrální činitele platí vztah

$$\rho(\lambda) + \tau(\lambda) + \alpha(\lambda) = 1 \quad (-) \quad (2.15)$$

Spektrální činitele jsou závislé na vlnové délce dopadajícího záření  $\lambda$ . Z těchto činitelů lze vyjádřit integrační činitele integrací dopadajícího záření ve viditelné oblasti.

Vztah pro odvození činitele odrazu  $\rho$ :

$$\rho = \frac{\int_{380}^{780} \left( \frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} \right)_{\lambda} \cdot V(\lambda) \cdot \rho(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{380}^{780} \left( \frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} \right)_{\lambda} \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda} \quad (2.16)$$

Pro činitele prostupu  $\tau$  a činitele pohlcení  $\alpha$  platí analogické vztahy, jež lze zjednodušit:

- integrační činitel odrazu  $\rho = \frac{\Phi_{\rho}}{\Phi} \quad (-; \text{lm, lm}) \quad (2.17)$

- integrační činitel prostupu  $\tau = \frac{\Phi_{\tau}}{\Phi} \quad (-; \text{lm, lm}) \quad (2.18)$

- integrační činitel pohlcení  $\alpha = \frac{\Phi_{\alpha}}{\Phi} \quad (-; \text{lm, lm}) \quad (2.19)$

Pro tyto integrační činitele  $\rho$ ,  $\tau$ ,  $\alpha$  rovněž platí následující vztah

$$\rho + \tau + \alpha = 1 \quad (-) \quad (2.20)$$

[1] [5]

## 2.9 Zajištění viditelnosti účastníků dopravy

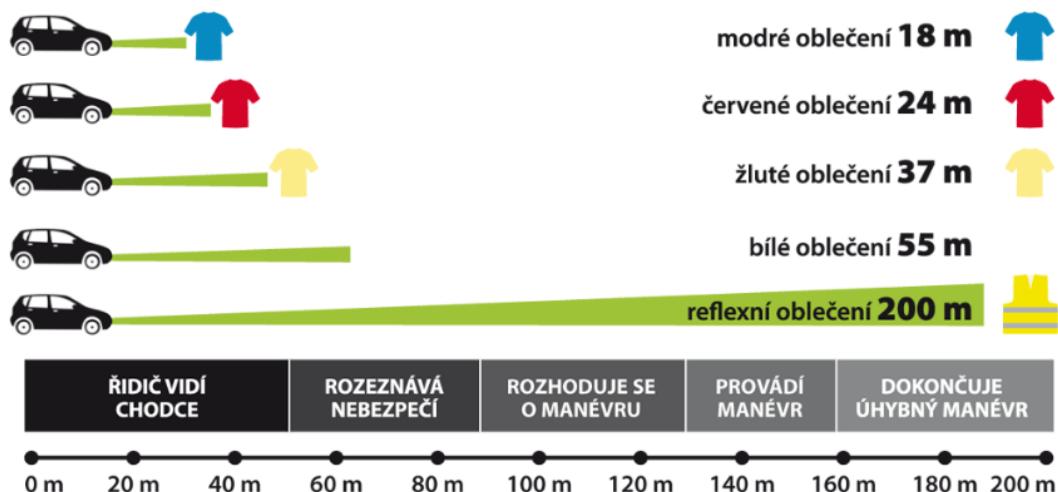
Mezi hlavní aspekty pro zajištění bezpečnosti chodců na komunikacích je jejich viditelnost. Proto je snaha přechody pro chodce přisvětlit na odpovídající hladinu osvětlenosti a to tak, aby se zvýšil jas oděvu či doplňků procházejícího chodce a řidič tak mohl správně a včas zareagovat na nebezpečí střetu s tímto chodcem. Přisvětlení přechodu však nesmí být provedeno v místech, kde by tímto přisvětlením došlo ke snížení kontrastu mezi chodcem a pozadím vlivem osvětlení okolních ploch. Tímto by klesla viditelnost chodců. Jas chodce je závislý na odraznosti jeho oděvu, je tedy potřeba měřením zjistit hodnotu poměrné odraznosti oděvů chodců.

[4]

### 2.9.1 Odraznost materiálu oděvu chodce

Lidské oko vnímá jas, přesněji řečeno kontrast jasů nebo barev pozorovaných předmětů. Velikost jasů je závislá na odraznosti materiálu a dopadajícím světelném toku, tedy osvětlenosti oděvu či doplňků chodce. Vše se tedy odvíjí od použitého světelného zdroje a svítidla. Protože je osvětlenost v prostoru přechodu pro chodce neměnná, bude chodec s vyšší odrazností oděvu vykazovat vyšší jas.

Na následujícím obrázku je zachyceno, jaký vliv má barva oděvu chodce na upoutání pozornosti řidiče, kterému se chodec nachází v zorném poli. Je však nutno podotknout, že se jedná pouze o informativní ukázkou viditelnosti chodce, neboť závisí na mnoha dalších okolnostech, mezi které patří např. použitý světelný zdroj ve světlometech vozidla, poloze a úhlu, ze kterého je chodec osvětlován, odraznosti oděvu chodce aj.



obr. 2.11: Zajištění viditelnosti chodce – rozdíl viditelnosti dle použité barvy oděvu [14]

Odraznost oděvu chodců lze vyjádřit při známých hodnotách osvětlenosti a jasů tímto vztahem, který platí pro matné povrchy

$$\rho = \frac{L \cdot \pi}{E} \quad (-; \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}, \text{lx}) \quad (2.21)$$

kdy se oděv chodce posuzuje v horní a dolní polovině těla. Poměrné odraznosti oděvů jsou velmi odlišné, a proto je vhodné znát pro všeobecné posouzení odraznosti průměrnou hodnotu. Je však nutno podotknout, že se nejedná o obecně platný vztah.

[4]

### 2.9.2 Způsoby zvýšení viditelnosti na přechodech pro chodce

Viditelnost chodce není pouze otázkou výsledného kontrastu. V případě, kdy je řidič nějakým způsobem informován, že se blíží k přechodu, zpozorní a tím klesne potenciální riziko střetu s přecházejícím chodcem. Snížením tohoto rizika střetu lze dosáhnout několika způsoby mezi něž patří tyto:

- zvýšení osvětlení v místě přechodu, tzv. přisvětlení přechodu pro chodce
- zvýšení kontrastu
- použití světelného zdroje s jinou teplotou chromatičnosti, tedy světlo odlišné barvy, než jakou je osvětlena vozovka před a za přechodem
- zdůraznění dopravní značkou, popřípadě blikajícím návěštím

Nejlepším řešením je však využít kombinaci všech výše uvedených způsobů. Mezi uvedenými způsoby zdánlivě chybí použití svítidla s černobílými pruhy tzv. zebry.



**obr. 2.12:** Ukázka svítidla MC2 ZEBRA [15]

Žádný předpis ani vyhláška, nenařizuje povinnost takto označovat svítidla na přechodech. Takovou úpravu lze dokonce považovat za nebezpečnou, neboť ve dne odvádí pozornost od vlastního přechodu a v noci pohled na černobílé označení tj. přímo do svítidla, může způsobit oslnění řidiče.

[16]

### 3 Rozbor norem řešících bezpečnost na komunikacích

Tato část se věnuje České technické normě ČSN 36 0455 – Osvětlení pozemních komunikací, přesněji je problematika zaměřená na předpis TKP 15 dodatek č. 1. V tomto předpisu jsou uvedeny základní pojmy související se zajištěním viditelnosti a bezpečnosti chodců na přechodech pro chodce a s tím související technické a kvalitativní požadavky na přisvětlení.

V tomto dokumentu jsou dále normativní odkazy, které jsou nezbytné pro použití předpisu TKP 15. Přesněji se jedná o tyto níže uvedené normy.

ČSN CEN/TR 13201-1: 2016 (36 0455) Osvětlení pozemních komunikací – Část 1: Výběr tříd osvětlení, ČSN EN 13201-2 : 2016 (36 0455) Osvětlení pozemních komunikací – Část 2: Požadavky, ČSN EN 13201-3 : 2016 (36 0455) Osvětlení pozemních komunikací – Část 3: Výpočet, ČSN EN 13201-4: 2016 (36 0455) Osvětlení pozemních komunikací – Část 4: Metody měření, ČSN EN 13201-5: 2016 (36 0455) Osvětlení pozemních komunikací – Část 5: Ukazatelé energetické náročnosti

Nicméně se těmito normami v této práci dále více nezabývám.

#### 3.1 Popis předpisu TKP 15

Jedná se o předpis vydaný ministerstvem dopravy – odboru pozemních komunikací, kde je řešena problematika osvětlení pozemních komunikací. Přesněji se jedná o kapitolu 15, dodatek č. 1. Tento předpis je platný od prosince roku 2016. Je zde doplněna kapitola Ochrana nočního prostředí, řešící přisvětlování přechodů pro chodce.

#### 3.2 Ochrana nočního prostředí

Pro osvětlování pozemních komunikací se volí svítidla v souladu s Nařízením komise (ES) č. 245/2009, podle kterého je požadováno, aby maximální horní účinnost svítidla v návrhové poloze (ULOR) nepřekročila tabulkové hodnoty pro danou třídu komunikace.

**tab. 3.1:** Maximální přípustná horní účinnost svítidla v návrhové poloze (ULOR) [2]

Třída osvětlení	Světelný tok $\Phi$ (klm)	ULOR (%)
<b>M1 až M6</b>	libovolný	3
<b>C0 až C5</b> <b>P1 až P6</b>	$12 \leq \Phi$	5
	$8,5 \leq \Phi < 12$	10
	$3,3 \leq \Phi < 8,5$	15
	$\Phi < 3,3$	20



V oblastech, např. pro přírodní rezervace, je důležité omezit toto rušivé světlo na 1 %. Ochranné pásmo se nachází do vzdálenosti 1 km od hranic chráněného objektu. Hodnoty uvedené v Tab. 3.1 lze překročit jen v odůvodněných případech. Například tam, kde je to žádoucí z urbanistického nebo architektonického hlediska. Také v místech, kde se prokáže, že nedodržení hodnot uvedených v Tab. 3.1 vede ke snížení zátěže nočního prostředí umělým světlem.

Jakékoliv vylepšování svítidla, za účelem snížit vyzařování rušivého světla, nesmí být provedeno na úkor celkové energetické účinnosti zařízení pro něj je určeno. Analogicky totéž platí i pro osvětlovací soustavy.

K měření rušivého světla se používají fotometry s čidlem přizpůsobeným fotopické spektrální citlivosti lidského oka  $V(\lambda)$ .



**obr. 3.1:** Ukázka rušivého světla [17]

[2]

### **3.3 Základní termíny a definice spojené s přechodem pro chodce**

#### **Přechod pro chodce**

Místo pro přecházení pozemní komunikace. Jedná se o konfliktní oblast na pozemní komunikaci, kde jsou parametry osvětlení přechodu dány příslušnou třídou osvětlení podle ČSN EN 13201-2: 2016

#### **Osvětlení přechodu**

Osvětlení přechodu v rámci navržené soustavy VO s využitím pozitivního nebo negativního kontrastu pro zajištění rozpoznatelnosti chodce.

#### **Přisvětlení přechodu**

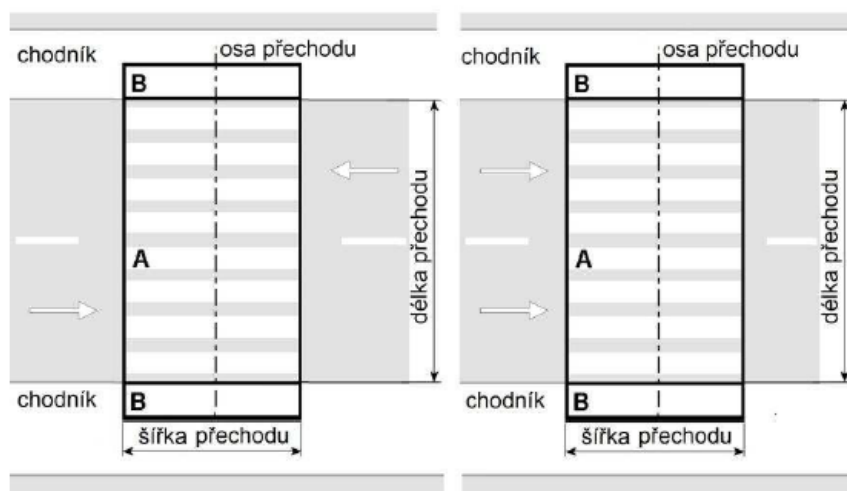
Přisvětlení, při kterém se běžná osvětlovací soustava veřejného osvětlení doplní o dodatečná svítidla, která slouží k vytvoření osvětlení s pozitivním kontrastem.

#### **Základní prostor přechodu pro chodce**

Jedná se o prostor, kde je, nebo může být chodec přisvětlován, viz obr. 3.2 a obr. 3.3.

#### **Doplňkový prostor přechodu pro chodce**

Jedná se o prostor, kde je, nebo může být chodec přisvětlován, avšak s nižšími požadavky na osvětlení viz obr. 3.2 a obr. 3.3.



obr. 3.2: Posuzovaný prostor přechodu pro chodce [2]

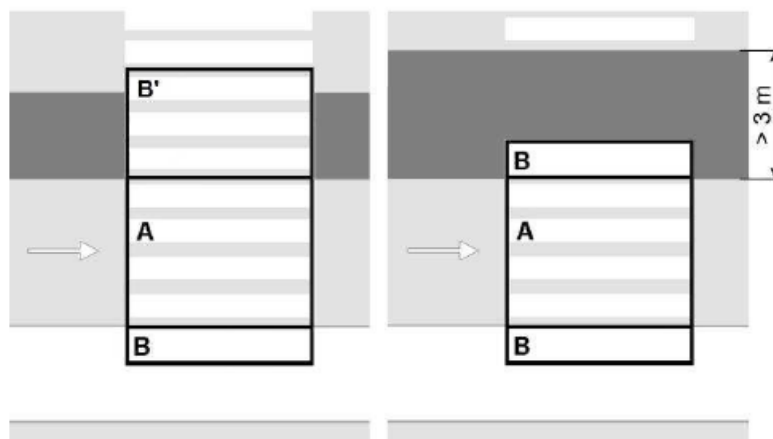
kde posuzovaný prostor A je prostor základní, prostor B je prostor doplňkový neprodloužený. Analogicky platí i pro pozemní komunikaci s více jízdními pruhy (situace vpravo na obr. 3.2).

### Délka základního prostoru přechodu pro chodce

Tato je oboustranně vymezena rozhraním mezi chodníkem a vozovkou, zpravidla se jedná o okraj obrubníku přilehlý k pozemní komunikaci, případně vnější okraj vodící čáry.

### Šířka základního prostoru přechodu pro chodce

Tato je vymezena okraji vodorovného dopravního značení V7 „přechod pro chodce“.



obr. 3.3: Posuzovaný prostor se středním dělicím pásem nebo ochranným ostrůvkem (vlevo) [2]

kde A je prostor základní, B prostor doplňkový neprodloužený, B' je prostor doplňkový prodloužený. Platí pro směr jízdy zleva. Pro opačný směr je situace analogická. Přechod s dělicím pásem nebo ochranným ostrůvkem delším než 3 m (vpravo).

**Doplňkový neprodloužený prostor přechodu pro chodce**

Jedná se o prostor navazující na prostor základní ve směru osy přechodu. Tento prostor je dlouhý 1 m a jeho šířka je shodná se šířkou základního prostoru viz obr. 3.2 a obr. 3.3.

**Doplňkový prodloužený prostor přechodu pro chodce**

Tento prostor se realizuje na straně případně existujícího středního dělicího pásu, ochranného ostrůvku nebo jiného dopravně bezpečnostního opatření, pokud je na dané pozemní komunikaci navržen. Jedná se o prostor navazující na prostor základní ve směru osy přechodu. Je dlouhý 3 m a jeho šířka je rovněž shodná se šířkou prostoru základního. Doplňkový prostor prodloužený se nerealizuje v případě, je-li délka dělicího pásu, ochranného ostrůvku větší než 3 metry viz obr. 3.3.

**Osa přechodu pro chodce**

Jedná se o přímku procházející středem půdorysu přechodu ve směru délky základního prostoru, viz obr. 3.2 a obr. 3.3.

[2]

## 4 Rozbor světelně technických parametrů na přechodech pro chodce

Pro zajištění dostatečné viditelnosti a zvýšení bezpečnosti chodců na přechodech pro chodce je nutno navrhnout správnou osvětlovací soustavu. Tato kapitola se tedy věnuje rozboru světelně technických parametrů světelných zdrojů a svítidel.

### 4.1 Světelně technické parametry světelných zdrojů

#### Světelné zdroje

Jedná se o základní prvek osvětlovací soustavy. Z umělých zdrojů světla mají největší význam zdroje napájené elektrickou energií, tzn. elektrické světelné zdroje. Celková kvalita a osvětlenost navržené osvětlovací soustavy je tedy z velké části závislá na správné volbě světelného zdroje.



obr. 4.1: Ukázka světelných zdrojů [7]

#### Světelný tok $\Phi$

Světelný tok představuje množství světla, které světelný zdroj vyzáří za jednotku času. Světelný tok je závislý na druhu a typu použitého světelného zdroje. Pro daný typ světelného zdroje se dá tento údaj najít v katalogu nebo na obalu světelného zdroje.

[3]

#### Měrný světelný výkon $\eta$

Jedná se o míru přeměny elektrické energie na energii světelnou. Definuje tedy vztah mezi produkovaným světelným tokem a elektrickým příkonem světelného zdroje. Elektrický příkon  $P$  se tedy přemění na světelný tok  $\Phi$ , přičemž se zohledňuje, jak vnímá lidské oko světelné záření. Teoretické maximum měrného výkonu vypočtené pro fotopické vidění je  $683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ . Nejúčinnější LED světelné zdroje již dosahují měrných výkonů kolem  $250 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ , přičemž se tato hodnota stále navyšuje.

Měrný výkon světelných zdrojů lze určit dle vztahu

$$\eta = \frac{\phi}{P} \quad (\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}; \text{lm}, \text{W}) \quad (4.1)$$

[3]

### Náhradní teplota chromatičnosti $T_C$

Používá se k popisu barevných vlastností světla vyprodukovaného světelným zdrojem. U teplotních světelných zdrojů např. žárovek odpovídá teplotě vlákna. U výbojových světelných zdrojů náhradní teplota chromatičnosti odpovídá ekvivalentnímu teplotnímu zdroji s podobným spektrálním složením, jaký má daný výbojový světelný zdroj.

U světelných zdrojů se rozlišují tři základní kategorie barvy světla v závislosti na teplotě chromatičnosti, a to [3]

- teple bílá < 3 300 K
- neutrální bílá 3 300 – 6 000 K
- studená bílá (denní) > 6 000 K



obr. 4.2: Náhradní teploty chromatičnosti a jejich zdroje [18]

I když mohou mít světelné zdroje stejnou barvu světla, mohou vykazovat rozdílné podání barev, které závisí na spektrálním složení světla těchto zdrojů.

### Všeobecný index podání barev $R_a$

Tato hodnota určuje, do jaké míry je člověk schopen při daném spektru záření daného světelného zdroje věrně vnímat barvy. Čím je hodnota indexu podání barev  $R_a$  vyšší, tím lepší neboli věrohodnější je podání barev daného světelného zdroje. Nejvyšší hodnotu, co se týče umělých zdrojů světla, dosahuje obyčejná žárovka a to  $R_a = 100$ . Nejnižších hodnot dosahují monochromatické zdroje záření, jako např. nízkotlaká sodíková výbojka, jež má index podání barev  $R_a = 0$ . [3]



obr. 4.3: Porovnání světelných zdrojů s odlišným indexem podání barev [19]

### Životnost světelného zdroje T

Takto je označována celková doba jeho svícení do okamžiku, kdy je světelný zdroj v praxi nepoužitelný. Životnost světelného zdroje je udávána v hodinách.

- **Užitečný život  $T_U$**

Doba funkce světelného zdroje, během níž si jeho parametry zachovávají hodnoty ležící v určitých stanovených mezích.

- **Fyzický život  $T_F$**

Celková doba svícení světelného zdroje do okamžiku úplné ztráty jeho provozuschopnosti tj. u žárovek dojde k přerušení vlákna, u výbojky dojde k okamžiku, kdy se nezapálí výboj.

- **Průměrný život  $T_P$**

Je doba, během níž činitel funkční spolehlivosti světelných zdrojů klesne na 50 % při daných referenčních podmínkách.

[3]

### Udržovací součinitel z

Je definován jako podíl průměrné osvětlenosti pracovní roviny po určité době používání osvětlovací soustavy a průměrné osvětlenosti soustavy, kterou lze považovat za novou. Udržovací činitel je závislý na plánovaném programu údržby. Bývá v rozmezí hodnot 0,5 – 0,8 přičemž hodnota udržovacího činitele  $z \geq 0,5$  je dána normou. Udržovací činitel lze určit dle vztahu

$$z = z_z \cdot z_s \cdot z_p \cdot z_{fz} \quad (-) \quad (4.2)$$

kde

$z_z$	činitel stárnutí světelných zdrojů
$z_s$	činitel znečištění svítidel
$z_p$	činitel znečištění ploch osvětlovaného prostoru
$z_{fs}$	činitel funkční spolehlivosti světelných zdrojů

[5] [3]

## 4.2 Světelně technické parametry svítidel

### Svítidla

Jsou to zařízení, která rozdělují, filtrují nebo mění světlo vyzařované jedním nebo více světelnými zdroji a obsahují všechny díly, včetně světelného zdroje, nutné pro upevnění a ochranu světelných zdrojů. V případě potřeby i pomocné obvody, včetně prostředků pro jejich připojení k síti.

Světelně činné části svítidel slouží ke změně rozložení, usměrnění nebo rozptýlení světelného toku světelných zdrojů, dále k omezení oslnění. Světelně činné části svítidla jsou schopny mimo jiné filtrovat nežádoucí části spektra vyzařovaného světelným zdrojem.

Konstrukční části svítidla slouží k upevnění světelného zdroje, světelně činných částí, k ochraně před vniknutím cizích předmětů a vody.

[5]



**obr. 4.4:** Ukázka svítidla veřejného osvětlení s LED světelným zdrojem světla [8]

### Měrný světelný výkon svítidla $l$

Zde platí analogie k měrnému výkonu světelného zdroje. Jedná se o poměr světelného toku vyzařovaného svítidlem a příkonu svítidla dle vztahu

$$l = \frac{\Phi_{SV}}{P_{SV}} = \frac{\Phi_Z \cdot \eta_{SV}}{P_{zd} + P_{pz}} \quad (\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}; \text{lm}, \text{W}) \quad (4.3)$$

### Světelný tok svítidla $\Phi_{SV}$

Světelný tok svítidla, který je svítidlem opticky upraven, je dán rozdílem světelného toku všech světelných zdrojů  $\Phi_Z$  umístěných ve svítidle a světelného toku ztraceného  $\Phi_{ZTR}$ , jež se ztratil při optickém zpracování.

$$\Phi_{SV} = \Phi_Z - \Phi_{ZTR} \quad (\text{lm}; \text{lm}, \text{lm}) \quad (4.4)$$

### Účinnost svítidla $\eta_{SV}$

Charakterizuje hospodárnost svítidla a její hodnota je dána poměrem světelného toku svítidla ke světelnému toku světelných zdrojů umístěných ve svítidle dle vztahu

$$\eta_{SV} = \frac{\Phi_{SV}}{\Phi_Z} \quad (-; \text{lm}, \text{lm}) \quad (4.5)$$

U běžných svítidel se pohybuje účinnost v rozmezí od 0,5 do 0,8. U LED svítidel a vysoce kvalitních světlometů i přes 0,95.

[3]

### Jas svítidel

Je definován jako podíl svítivosti v daném směru a velikosti průmětu svítící plochy do roviny kolmé k uvažovanému směru

$$L_\gamma = \frac{I_\gamma}{A \cdot \cos \gamma} \quad (\text{cd}; \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}, \text{m}^2) \quad (4.6)$$

$L_\gamma$  svítivost svazku světelných paprsků (svítící plochy)

$A$  velikost svítící plochy viditelné pozorovatelem

$\gamma$  úhel, o který je viděná plocha natočena od kolmice k ose pohledu

Tento parametr je velmi důležitý při hodnocení oslnění způsobeném svítidlem. Jasy svítidel jsou omezovány mechanicky clonami, stínidly popř. rozptylnými kryty. Toto omezení je však vždy doprovázeno snížením účinnosti svítidla.

### Příkon svítidel $P_{SV}$

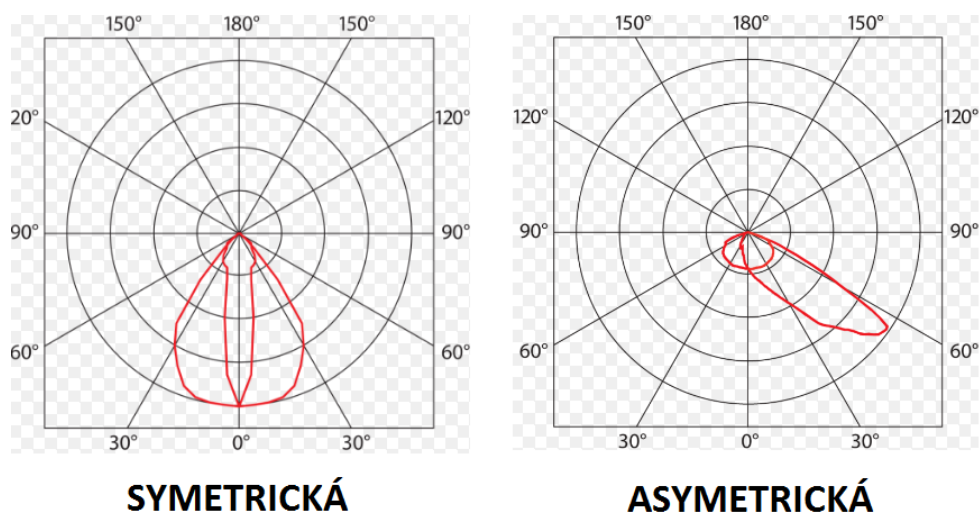
Patří mezi důležitý parametr pro hodnocení energetické náročnosti, neboť většina světelných zdrojů potřebuje předřadník. Hodnotu příkonu svítidla je možno najít v katalogu, na štítku svítidla bývá pouze příkon světelného zdroje.

[3]

### Křivka svítivosti

Svítivost představuje velikost světelného toku  $\phi$  vyzářeného do daného orientovaného prostorového úhlu  $\Omega$ . Je-li tento úhel velmi malý, mluvíme o svítivosti v daném směru. Pro svítidla se udávají křivky svítivosti, což jsou jinak řečeno grafy svítivosti v jednotlivých směrech. Nejčastěji používaná soustava fotometrických měřících rovin je C- $\gamma$ .



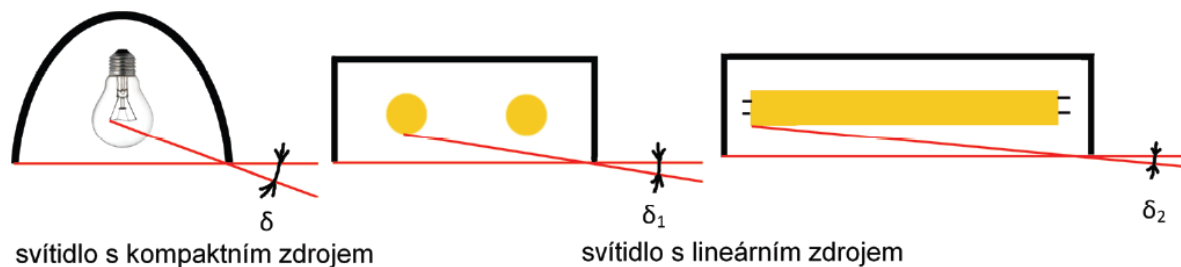


**obr. 4.5:** Ukázka symetrické a asymetrické křivky svítivosti svítidla [20]

#### Úhel clonění $\delta$

Udává míru zaclonění světelného zdroje svítidlem. Jedná se tedy o nejmenší ostrý úhel mezi vodorovnou rovinou a přímkou spojující okraj svítidla se světelným zdrojem. U čiré žárovky je to její vlákno, u opálové zářivky nebo výbojky se jedná o povrch baňky.

[5]



**obr. 4.6:** Úhel clonění u svítidel [5]

#### Volba udržovacího činitele

Velikost udržovacího činitele lze zvolit ze součinitelů uvedených v následujících tabulkách, viz Udržovací součinitel „z“ definovaný v této kapitole.

**tab. 4.1:** Hodnoty činitele znečištění svítidel [2]

Stupeň krytí optické části svítidla	Znečištění ovzduší	Hodnoty činitele znečištění svítidel v závislosti na délce intervalu čištění (roky)				
		1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
<b>IP 2x</b>	Malé	0,82	0,80	0,79	0,78	0,78
	Střední	0,62	0,58	0,56	0,54	0,53
	Velké	0,53	0,48	0,45	0,43	0,42
<b>IP 5x</b>	Malé	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88
	Střední	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82
	Velké	0,89	0,87	0,84	0,80	0,76
<b>IP 6x</b>	Malé	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90
	Střední	0,92	0,92	0,91	0,90	0,90
	Velké	0,91	0,90	0,88	0,85	0,83

**tab. 4.2:** Hodnoty činitele stárnutí světelných zdrojů [2]

Typ světelného zdroje	Provozní doba (tisíce hodin)				
	4	6	8	10	12
<b>Vysokotlaká sodíková výbojka</b>	0,98	0,97	0,94	0,91	0,90
<b>Halogenidová výbojka</b>	0,82	0,78	0,76	0,74	0,73
<b>Vysokotlaká rtuťová výbojka</b>	0,87	0,83	0,80	0,78	0,76
<b>Nízkotlaká sodíková výbojka</b>	0,98	0,96	0,93	0,90	0,87
<b>Lineární zářivka s třípásmovým luminoforem</b>	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
<b>Lineární zářivka s halofosfátovým luminoforem</b>	0,82	0,78	0,74	0,72	0,71
<b>Kompaktní zářivka</b>	0,91	0,88	0,86	0,85	0,84

## 5 Vliv jasu pozadí na návrh osvětlení přechodu pro chodce

Problematika jasu pozadí má zásadní vliv na viditelnost objektu nacházejícím se právě před tímto pozadím. Nachází-li se chodec na přechodu pro chodce z pohledu řidiče na tmavém pozadí, je potřeba přisvětlením tohoto přechodu zvýšit viditelnost chodce díky pozitivního kontrastu. V opačném případě je potřeba zajistit negativní kontrast chodce vůči světlému pozadí. Je zde dále uvedena problematika zřizování adaptačních pásem před a za přechodem pro chodce.

### 5.1 Kontrast a jasové poměry na přechodu pro chodce

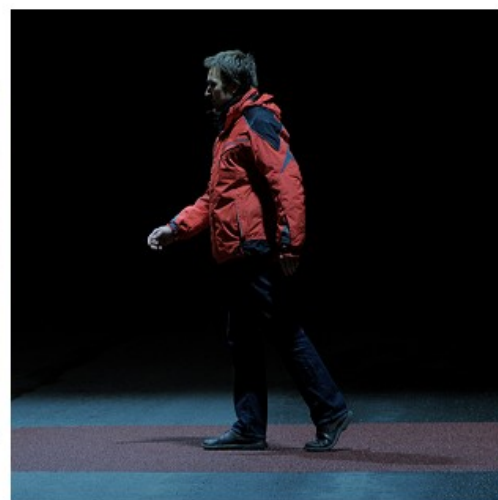
Kontrast je veličina, která udává rozdíl mezi nejsvětlejší a nejtmaší částí pozorovaného předmětu, viz kapitola 2.5 Rozlišovací schopnost oka.

#### Pozitivní kontrast

Tento kontrast nastane v případě, kdy je osvětlovaný objekt (chodec) jasnější než pozadí, na kterém je vidět z pozice příjezdějího řidiče.

#### Negativní kontrast

Nastane v případě, kdy je osvětlovaný objekt (chodec) tmavší než pozadí, na kterém je vidět z pozice příjezdějího řidiče. Negativního kontrastu se většinou dosáhne základním (správně navrženým VO vozovky).



**obr. 5.1:** Ukázka kontrastu chodce negativního (vlevo) a pozitivního (vpravo) [21] [22]

Pro dobrou rozeznatelnost chodce je potřeba zajistit správné nasvícení svislého prostoru přechodu z pohledu příjezdějího řidiče. Chodec bude poté vytvářet jas v poměru 3:1 s jasem pozadí pro pozitivní kontrast a jas 1:3 s jasem pozadí pro kontrast negativní.

## 5.2 Udržovaný jas pozemní komunikace

V místech, kde není jas znám, se vychází z velikosti udržované horizontální osvětlenosti pozemní komunikace. Přepočet na udržovaný jas pozemní komunikace lze provést v závislosti na hodnotě průměrného součinitele jasu  $Q_0$  dle vztahu

$$\bar{L} = \frac{\bar{E}}{Q_0} \quad (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (5.1)$$

Jas pozadí je možné vyhodnotit také jako jas průmětu prostoru do vymezeného prostoru svislým obdélníkem výšky 2,1 m a délky rovné délce přechodu prodloužené o délky doplňkových prostorů. Obdélník se umístí na zadní hraně přechodu, rovnoběžně s osou přechodu. Pozice pozorovatele je ve vzdálenosti 60 m před osou přechodu ve výšce 1,5 m nad vozovkou, uprostřed odpovídajícího jízdního pásu. Měření se provádí v nočních hodinách za plného provozu veřejného osvětlení. [2]

**tab. 5.1:** Průměrná udržovaná svislá osvětlenost prostorů přechodu [2]

Udržovaná hodnota stávajícího osvětlení		Udržovaná průměrná svislá osvětlenost E <sub>m</sub> (lx)		
jasu povrchu pozemní komunikace/pozadí (cd·m <sup>-2</sup> )	horizontální osvětlenosti pozemní komunikace (lx)	nejnižší		nejvyšší
		prostor		všechny prostory
		základní	doplňkový	
1,5 ≤ L̄	50 ≤ Ē	přisvětlení se nezřizuje		
1,0 ≤ L̄ < 1,5	30 ≤ Ē < 50	75	50	200
0,75 ≤ L̄ < 1,0	20 ≤ Ē < 30	50	30	150
0,5 ≤ L̄ < 0,75	10 ≤ Ē < 20	30	20	100
L̄ < 0,5	Ē < 10	15	10	50

## 5.3 Zřizování adaptačních pásem

Adaptační pásma se zřizují na pozemních komunikacích třídy osvětlení M s udržovanou hodnotou průměrného jasu  $1 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$  a vyšší a dále na pozemních komunikacích třídy osvětlení C s udržovanou průměrnou osvětleností 20 lx a vyšší.

Adaptační pásma se řeší stupňovitým snižováním udržovaného jasu (osvětlenosti) povrchu pozemní komunikace na hladinu nižší. Minimální délky jednotlivých adaptačních pásem (úseků) jsou uvedeny v následujících tabulkách. [2]

**tab. 5.2:** Adaptační pásma pro třídy osvětlení M [2]

Jas povrchu komunikace ( $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ) Udržovaná hodnota	Minimální délky dílčích úseků s jasnem ( $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ) Udržovaná hodnota			Celková délka adaptačního pásma (m)
	1,0	0,5	0,3	
$\bar{L} \geq 2,0$	100	100	150	350
$2,0 > \bar{L} \geq 1,5$	50	100	150	300
$1,5 > \bar{L} \geq 1$	-	100	150	250

**tab. 5.3:** Adaptační pásma pro třídy osvětlení C [2]

Osvětlenost povrchu komunikace (lx) Udržovaná hodnota	Minimální délky dílčích úseků s osvětleností (lx) Udržovaná hodnota			Celková délka adaptačního pásma (m)
	20	15	10	
$\bar{E} \geq 50$	100	100	150	350
$50 > \bar{E} \geq 30$	50	100	150	300
$30 > \bar{E} \geq 20$	-	100	150	250

## 6 Modelování optimální osvětlovací soustavy pro osvětlení přechodu pro různé jasy pozadí

Pro návrh optimální osvětlovací soustavy pro osvětlení přechodu pro chodce je nutno se vyvarovat častých chyb při umisťování svítidel, které jsou zde popsány. Jsou zde tedy popsány způsoby umístění svítidel jak pro docílení správného negativního kontrastu chodce, tak pro dosažení požadovaného pozitivního kontrastu chodce. Rovněž je zde uvedeno rozložení kontrolních měřících bodů dle předpisu TKP 15 pro měření vertikálních a horizontálních osvětleností pro danou část přechodu pro chodce.

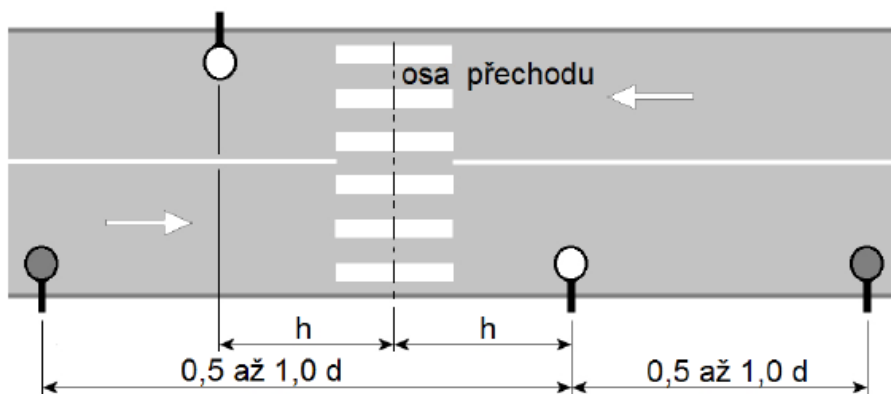
### 6.1 Rozbor problematiky osvětlování přechodů pro chodce

Přechody pro chodce patří mezi jedny z nejnebezpečnějších míst v městské dopravě. V poslední době se přechody začaly osvětlovat intenzivněji, než tomu bylo v letech minulých. Nicméně stále platí, že správně osvětlený přechod je k vidění velice zřídka. Ve většině případů jsou svítidla špatně umístěna a velmi často jsou pro daný prostor přechodu zvolena nevhodně.

Aby řidič vozidla viděl chodce na přechodu dostatečně dobře, lze jeho viditelnost na přechodu zvýraznit pomocí pozitivního kontrastu, kdy je světlejší postava vnímána proti tmavšímu pozadí nebo pomocí kontrastu negativního, kdy je tmavší postava vnímána proti světlejšímu pozadí.

Existují případy, kdy je vhodné přechody pro chodce nepřisvětlovat vůbec, protože by toto přisvětlení mohlo zapříčinit zhoršení bezpečnosti. A to například při proměnlivém jasu pozadí, kdy není možné dosáhnout trvale pozitivního nebo negativního kontrastu. V praxi tato situace může nastat například v oblasti obchodních center, kdy jas okolí poklesne po zavření obchodů. Dále například v situaci, kdy se postava chodce promítá na plochu, která může měnit své optické vlastnosti v průběhu roku, tzn. tmavá travnatá plocha, bude po zapadání sněhem světlá.

V případě přechodů pro chodce, kde je vhodnější zvýraznit chodce pomocí negativního kontrastu, by se neměla svítidla umisťovat těsně k přechodu nebo nad něj. Světelná místa se doporučuje rozmístit pro jednostrannou soustavu podle obr. 6.1. Pro jiné typy osvětlovacích soustav, jako jsou vystřídáná, párová atd., se postupuje analogicky. [2]



obr. 6.1: Způsob osvětlení přechodu pro chodce s využitím negativního kontrastu [2]

$d$  – rozteč světelných míst soustavy veřejného osvětlení

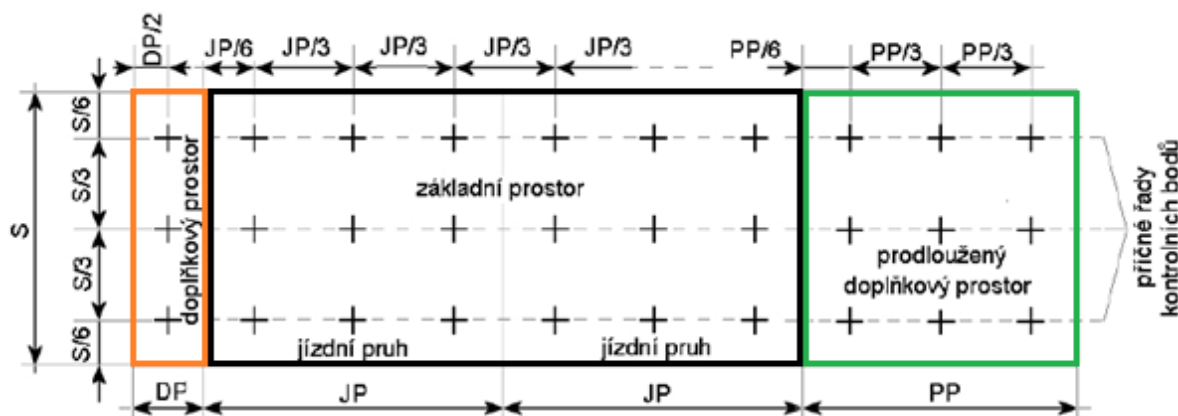
$h$  – výška svítidla nad vozovkou pro přisvětlení přechodu pro chodce

Při návrhu zvýraznění pomocí negativního kontrastu je potřeba kontrolovat velikost kontrastu podobně jako v případě pozitivního kontrastu. Je-li soustava veřejného osvětlení a svítidla přisvětlující prostor za přechodem umístěna na nevhodných pozicích, vznikne zde riziko, že se nevytvoří potřebný kontrast.

Přisvětlení chodce na přechodu pomocí pozitivního kontrastu je řešeno dále v kapitole 6.5.

## 6.2 Návrh měřicích bodů osvětlovací soustavy na přechodu

Výpočtové body jsou umístěny ve srovnávací rovině základního prostoru do 3 příčných řad. Tyto jsou od sebe vzdáleny  $\frac{1}{3}$  šířky přechodu. První řada je umístěna ve vzdálenosti  $\frac{1}{6}$  šířky přechodu od jeho okraje. Pro každý jízdní pruh jsou v jeho šířce analogicky umístěny 3 výpočtové body. Pro doplňkový prostor prodloužený platí analogie. V doplňkovém prostoru neprodlouženém se umísťuje pouze 1 výpočtový bod v každé řadě, který je umístěn v  $\frac{1}{2}$  délky neprodlouženého doplňkového prostoru. Při výpočtu se zanedbává např. stínění ostrůvkem.



**obr. 6.2:** Rozmístění výpočtových bodů při měření horizontální a vertikální osvětlenosti na přechodech pro chodce dle předpisu TKP 15

U navržené osvětlovací soustavy se hodnotí:

- Udržovaná průměrná vertikální osvětlenost ve výšce 1 m nad úrovní vozovky (přechodu)
- Udržovaná průměrná horizontální osvětlenost ve výšce 0 m, tzn. na úrovni vozovky
- Rovnoměrnost udržované osvětlenosti, která musí být větší než 0,4
- Měřením pak index podání barev, náhradní teplota chromatičnosti světla, případně oslnění

### 6.3 Doplnkové osvětlení – přisvětlení přechodu pro chodce

Zvýšení intenzity osvětlení lze dosáhnout pomocí doplňkového osvětlení přechodu. Při správném návrhu dostatečně osvětlí chodce ze strany přijíždějících vozidel, a ten je pak dobře vidět na tmavším pozadí díky docílení pozitivního kontrastu. Současně může takové osvětlení zajistit i barevné zvýraznění. Ve většině případů jsou komunikace osvětleny vysokotlakými sodíkovými výbojkami, které generují nažloutlé „teplé“ světlo. Pak je dobré přechod osvětlit pomocí halogenidové výbojky, v současné době však pomocí LED světelného zdroje. Tyto vyzařují bělejší „chladnější“ světlo. Naopak, jsou-li použity chladnější zdroje pro osvětlení komunikace, použije se pro přisvětlení přechodu světelný zdroj s teplou barvou světla, tedy např. sodíková výbojka.

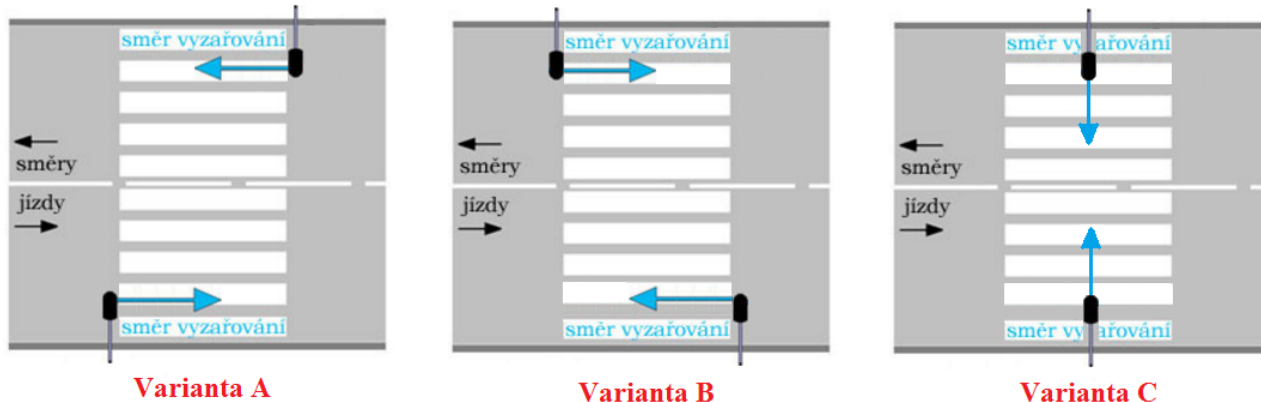
Kvalitní osvětlení zaručí svítidla svítící převážně ve směru pohledu řidiče. Jiná svítidla, zejména ta s asymetrií napříč pohledu řidiče, splní svůj úkol jen z části, protože nemohou dostatečně intenzivně osvětlit chodce.

Vhodná svítidla by měla být uzavřena plochým sklem. Jedná se totiž o jeden z mála případů, kdy lze jednoznačně prohlásit, že taková svítidla jsou ve srovnání s běžnými svítidly ohleduplnější k nočnímu prostředí a méně oslňují.

[16]

### 6.4 Chyby při umisťování svítidel na přechodech pro chodce

Při umisťování svítidel na přechodech pro chodce se překvapivě dopouštějí hrubých chyb i renomované firmy.



obr. 6.3: Chyby při umisťování svítidel pro přisvětlení přechodů pro chodce

Požadavky na správné osvětlení nelze brát za splněné pomocí svítidel umístěných na přední hraně přechodu viz **varianta A** na obr. 6.3 a to z důvodu, že chodec zůstává nedostatečně osvětlen, protože na něj dopadá světlo pod příliš velkým úhlem. Čím je tento úhel méně ostrý, tím je ve výsledku přecházející osoba lépe osvětlena a tím pádem pro řidiče i lépe zpozorovatelná.

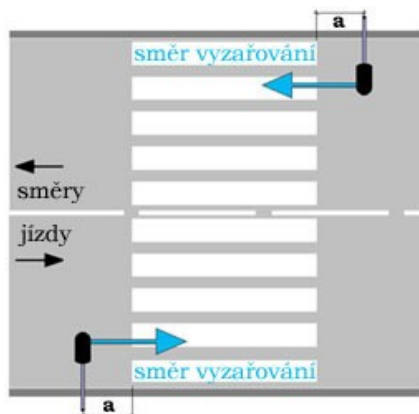
Ještě horší situace však nastane, jsou-li stožáry umístěny na zadní hraně přechodu, viz **varianta B** na obr. 6.3. Při tomto způsobu již není chodec ve směru k řidiči osvětlen vůbec.

Nejhorší je však případ, kdy jsou svítidla umístěna přímo nad přechodem a svítí napříč komunikace. Tehdy není chodec řádně osvětlen ani z jednoho směru, neboť na něj téměř vůbec nedopadá světlo ze strany, viz **varianta C** na obr. 6.3.



## 6.5 Požadavky na umístění svítidel pro správný návrh osvětlovací soustavy – vytvoření pozitivního kontrastu chodce

Pro splnění všech požadavků na osvětlení přechodu, musí být svítidla umístěna v dostatečném odstupu před ním. Výpočet obvykle ukáže, že je potřeba umístit stožár před přechodem ve vzdálenosti větší, než je třetina výšky svítidla nad vozovkou.



**obr. 6.4:** Ukázka správně umístěného svítidla pro vytvoření požadovaného pozitivního kontrastu chodce nacházejícího se na přechodu [23]

Vzdálenost od přechodu „a“ doporučují někteří výrobci svítidel v absolutní hodnotě 1 m od hrany značení přechodu. Dle některých doporučení se má tato hodnota dokonce pohybovat v rozmezí 0,5 až 1 násobku montážní výšky svítidla. Obecně lze říci, že záleží na fotometrických vlastnostech konkrétního typu svítidla. Nikdy však tato vzdálenost nemůže být menší než nula!

Při tomto způsobu umístění stožáru je chodec nejvíce osvětlen ze strany a je tedy i nejlépe vidět. V případě, že bude přechod veden napříč vozovkou s více jízdními pruhy, nebude pochopitelně stačit k jeho dostatečnému osvětlení jen jedno svítidlo na chodníku, ale bude potřeba umístit ještě jedno svítidlo poblíž středového pruhu. Toto doplňující svítidlo bude rovněž svítit ve směru jízdy řidiče.

Bohužel dochází i k případům, že se z úsporných důvodů vypne veřejné osvětlení a ponechávají se v provozu pouze svítidla pro přisvětlení přechodů pro chodce.



**obr. 6.5:** Ukázka situace, kdy není osvětleno adaptační pásmo pouze přechod samotný [4]

Zrak přijíždějícího řidiče k tomuto přechodu se musí neustále adaptovat na různé jasy. To je pro lidské oko velice unavující a značně zhoršuje schopnost rozlišovat nekонтрастní objekty. Řidič tedy prakticky není schopen rozpoznat tmavou překážku, která se nachází za intenzivně osvětleným úsekem přechodu viz obr. Podobně nevhodná situace nastane, když se ponechá v provozu pouze osvětlení křižovatek a nebo se osvětluje komunikace pouze ob stožár.

Závěrem k tomuto lze tedy říci, že osvětlování těmito nevhodnými způsoby je mnohem horší a nebezpečnější pro všechny účastníky provozu, než kdyby osvětlení nebylo provedeno vůbec.

[16]

## 7 Ověření správnosti navržené osvětlovací soustavy

Za účelem ověření správnosti navržené osvětlovací soustavy (ta je provedena ve výpočtovém programu ReluxPro viz příloha) pro přisvětlení přechodu pro chodce bylo provedeno kontrolní měření, při němž byla kontrolována osvětlenost jak horizontální, tak také osvětlenost vertikální v každém ze směru jízdy řidiče k tomuto přechodu dle předpisu TKP 15.

### 7.1 Kontrolní měření na přechodu ve Valašském Meziříčí

Kontrolní měření osvětlovací soustavy proběhlo na přechodu pro chodce ve Valašském Meziříčí na ulici Vsetínská dne 6. 2. 2017 v čase od 18:30 do 20:00 při venkovní teplotě 2 °C. Právě tato ulice patří mezi hlavní silnici přes město Valašské Meziříčí, a proto je nezbytné zajistit dostatečnou bezpečnost pro chodce při přecházení této silnice.



obr. 7.1: Lokalizace měřeného přechodu

Při následném vyhodnocování bylo využito těchto normovaných zdrojů:

- ČSN CEN/TR 13201-1 Osvětlení pozemních komunikací - Část 1 Výběr tříd osvětlení
- ČSN EN 13201-2 Osvětlení pozemních komunikací - Část 2 Požadavky
- ČSN EN 13201-2 Osvětlení pozemních komunikací - Část 2 Požadavky Z1
- ČSN EN 13201-3 Osvětlení pozemních komunikací - Část 3 Výpočet
- ČSN EN 13201-3 Osvětlení pozemních komunikací - Část 3 Výpočet Opr.1
- ČSN EN 13201-3 Osvětlení pozemních komunikací - Část 3 Výpočet Z1
- ČSN EN 13201-4 Osvětlení pozemních komunikací - Část 4 Metody měření
- Předpis TKP-15 Z/1 Přisvětlování na přechodech pro chodce

### 7.1.1 Popis navržené venkovní osvětlovací soustavy - Použitá technologie

Pro kontrolovaný přechod pro chodce byla navržena osvětlovací soustava pomocí LED světelných zdrojů, které byly osazeny ve svítidlech FILAK CL110. Tato svítidla jsou umístěna na stožárech ve výšce 6 metrů nad pozemní komunikací, tedy přechodem pro chodce. Světelné zdroje ve svítidlech osvětlující pozemní komunikaci jsou umístěny ve výšce 12 m nad vozovkou.

**tab. 7.1:** Údaje o použitém svítidle na přechodu

Výrobce	Filak s.r.o
Účinnost	100 %
Měrný výkon	124,69 lm·W <sup>-1</sup>
Výkon	111 W
Světelný tok	13 841 lm
Rozměry	580 mm x 250 mm x 97 mm

**tab. 7.2:** Údaje o použitém světelném zdroji na přechodu

Výrobce	Filak s.r.o
Označení - typ	LED
Index podání barev	> 70
Teplota chromatičnosti	5 000 K
Světelný tok	13 841 lm

Dle předpisu TKP 15 – Osvětlení pozemních komunikací, příloha č. 1, je nutno pozemní komunikaci tzn. adaptační pásma, osvětlit na předepsanou úroveň osvětlenosti dle normy ČSN EN 13201-2 před a za přechodem pro chodce v délce, jenž je závislá na nejvyšší povolené rychlosti. Tedy při nejvyšší dovolené rychlosti 50 km·h<sup>-1</sup> byla adaptační pásma určena na vzdálenost 100 metrů před a za přisvětlovaným přechodem pro chodce. Osvětlení adaptačních pásem je realizováno neznámými světelnými zdroji a svítidly.

Měření osvětlenosti adaptačních pásem bylo provedeno z jedné strany přechodu na úseku komunikace a z druhé strany přechodu na kruhovém objezdu viz obr. 7.1.

### 7.1.2 Postup měření

Kontrolní měření navržené osvětlovací soustavy bylo provedeno ve večerních hodinách, aby byl vyloučen vliv denního osvětlení. V době měření byla všechna svítidla a světelné zdroje plně funkční, přičemž svítidla byla před vlastním měřením více než 30 minut v provozu, proto bylo možné považovat světelný tok za stabilizovaný. Všechny použité světelné zdroje byly rovněž v provozu déle než 100 hodin.

Na ploše měřeného přechodu pro chodce byla vymezena síť kontrolních měřících bodů dle předpisu TKP 15 viz kapitola 6.2. Byla měřena horizontální osvětlenost na úrovni vozovky a dále vertikální osvětlenosti ve výšce 1 metr nad vozovkou pro oba směry příjezdových řidičů k přechodu.

Z naměřených hodnot byly následně vypočítány průměrné hodnoty osvětleností pomocí vztahu:

$$E_m = E_{m0} \cdot z \quad (lx; lx, -) \quad (7.1)$$

kde „z“ je udržovací činitel  $z = 0,8$

a rovnoměrnosti osvětlenosti ze vztahu:

$$u = \frac{E_{\min 0}}{E_{m0}} \quad (-; lx, lx) \quad (7.2)$$

Nejistota měření byla vyjádřena jako rozšířená standardní nejistota  $U$  s koeficientem rozšíření  $k = 2$ , což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí 95 % a je stanovena na  $\pm 10 \%$ . Naměřené a vypočtené hodnoty jsou uvedeny v následujících tabulkách.


### 7.1.3 Naměřené a vypočtené hodnoty osvětleností na přechodu


Zde jsou uvedeny naměřené a vypočtené hodnoty jak osvětleností vertikálních pro oba dva směry jízdy, tak i osvětlenost horizontální.

### 7.1.4 Vertikální osvětlenosti

**tab. 7.3:** Naměřené hodnoty vertikální osvětlenosti pro směr jízdy 1

svítidlo A





směr jízdy  
(směr 1)

**Naměřené hodnoty**

x/y (m)	0,5	1	2,75	4,5	0,5	1,5	2,5
0,5	17	18	17	20	20	16	16
1,5	27	54	52	40	23	30	37
2,5	48	82	78	50	29	18	19

nástup
přechod
ostrůvek

**tab. 7.4:** Vypočtené hodnoty vertikální osvětlenosti pro směr jízdy 1

	$E_m$ (lx)	$E_{\min}$ (lx)	$U_0$ (-)
Nástup 1	24,5	13,6	0,6
Přechod 1	36,5	13,6	0,4
Ostrůvek	18,5	12,8	0,7

Pozn. Vypočtené hodnoty jsou přepočítány pomocí udržovacího činitele  $z = 0,8$

**tab. 7.5:** Naměřené hodnoty vertikální osvětlenosti pro směr jízdy 2

**Naměřené hodnoty**

x/y (m)	0,5	1,5	2,5	1	2,75	4,5	0,5
0,5	24	30	37	54	65	40	18
1,5	23	27	36	50	72	79	27
2,5	18	25	33	46	60	69	63

ostrůvek                      přechod                      nástup

směr jízdy  
(směr 2)                      ↑                      ⊗  
svítidlo A

**tab. 7.6:** Vypočtené hodnoty vertikální osvětlenosti pro směr jízdy 2

	$E_m$ (lx)	$E_{min}$ (lx)	$U_0$ (-)
<b>Ostrůvek</b>	22,5	14,4	0,6
<b>Přechod 2</b>	47,6	32,0	0,7
<b>Nástup 2</b>	28,8	14,4	0,5

Pozn. Vypočtené hodnoty jsou přepočítány pomocí udržovacího činitele  $z = 0,8$

### 7.1.5 Horizontální osvětlenosti

**tab. 7.7:** Naměřené hodnoty horizontální osvětlenosti

směr jízdy  
(směr 1)                      ↓                      ⊗

**Naměřené hodnoty**

x/y (m)	0,5	1	2,75	4,5	0,5	1,5	2,5	1	2,75	4,5	0,5
0,5	127	149	133	100	71	61	60	66	85	72	34
1,5	153	146	126	96	71	67	69	78	94	112	71
2,5	120	148	104	75	62	70	75	92	108	135	119

nástup                      přechod                      ostrůvek                      přechod                      nástup

směr jízdy  
(směr 2)                      ↑                      ⊗

**tab. 7.8:** Vypočtené hodnoty horizontální osvětlenosti

	$E_m$ (lx)	$E_{min}$ (lx)	$U_0$ (-)
<b>Nástup 1</b>	106,7	96,0	0,9
<b>Přechod 1</b>	95,7	60,0	0,6
<b>Ostrůvek</b>	53,9	48,0	0,9
<b>Přechod 2</b>	74,8	52,8	0,7
<b>Nástup 2</b>	59,7	27,2	0,5

Pozn. Vypočtené hodnoty jsou přepočítány pomocí udržovacího činitele  $z = 0,8$

### 7.1.6 Výsledky měření horizontální a vertikální osvětlenosti přechodu

**tab. 7.9:** Výsledky měření horizontální a vertikální osvětlenosti přechodu

Prostor	Vertikální osvětlenost (směr 1)		Vertikální osvětlenost (směr 2)		Horizontální osvětlenost	
	Osvětlenost $E_m$ (lx)	Rovnoměrnost $U_0$ (-)	Osvětlenost $E_m$ (lx)	Rovnoměrnost $U_0$ (-)	Osvětlenost $E_m$ (lx)	Rovnoměrnost $U_0$ (-)
<b>Nástup 1</b>	24,5	0,6	-	-	106,7	0,9
<b>Přechod 1</b>	36,5	0,4	-	-	95,7	0,6
<b>Ostrůvek</b>	18,5	0,7	22,5	0,6	53,9	0,9
<b>Přechod 2</b>	-	-	47,6	0,7	74,8	0,7
<b>Nástup 2</b>	-	-	28,8	0,5	59,7	0,5

Z důvodu rozdělení přechodu ostrůvkem, je dostačující měření vertikální osvětlenosti jen z jedné strany, tedy ze strany přijíždějících automobilů v daném úseku přechodu.

**tab. 7.10:** Výsledky měření horizontální osvětlenosti adaptačních pásem

Měřený referenční úsek	$U_0$ (-)	$E_m$ (lx)	$E_{min}$ (lx)
<b>Směr 1 (komunikace)</b>	0,40	10,50	4,20
<b>Směr 2 (kruhový objezd)</b>	0,31	20,50	6,37

Pozn. Hodnoty uvedené v tabulce jsou již přepočítány pomocí udržovacího činitele  $z = 0,8$

**tab. 7.11:** Požadované hodnoty udržovaných osvětleností dle předpisu TKP 15, které jsou zvoleny dle úrovně osvětlení adaptačních pásem

Udržovaná hodnota stávajícího osvětlení		Udržovaná průměrná svislá osvětlenost (lx)		
jasu povrchu pozemní komunikace/pozadí (cd·m <sup>-2</sup> )	horizontální osvětlenosti pozemní komunikace (lx)	nejnižší		nejvyšší
		prostor		všechny prostory
		základní	doplňkový	
1,5 ≤ $\bar{L}$	50 ≤ $\bar{E}$	přisvětlení se nezřizuje		
1,0 ≤ $\bar{L}$ < 1,5	30 ≤ $\bar{E}$ < 50	75	50	200
0,75 ≤ $\bar{L}$ < 1,0	20 ≤ $\bar{E}$ < 30	50	30	150
0,5 ≤ $\bar{L}$ < 0,75	10 ≤ $\bar{E}$ < 20	30	20	100
$\bar{L}$ < 0,5	$\bar{E}$ < 10	15	10	50

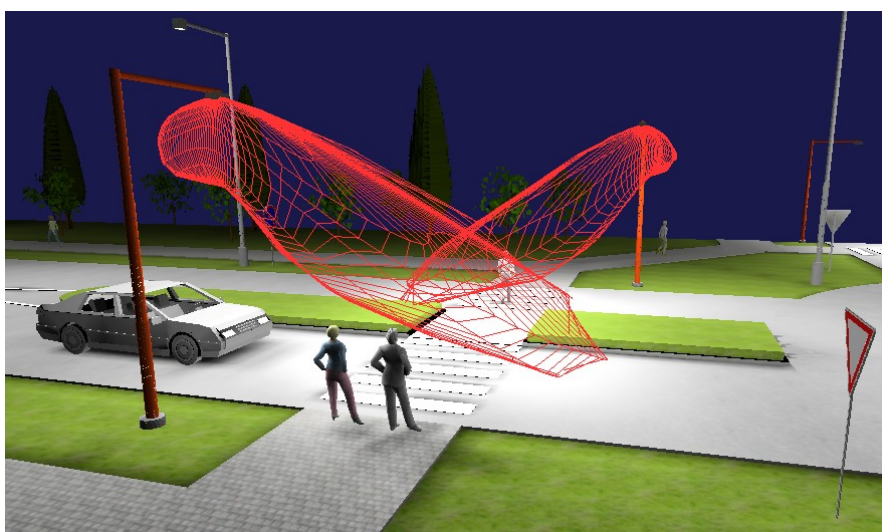
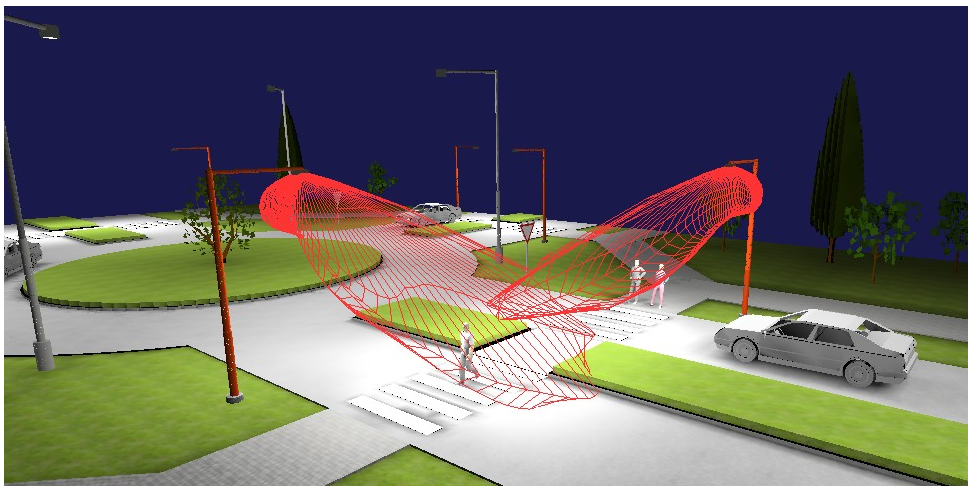
### 7.1.7 Jasová analýza chodce na přechodu pro chodce

Jasová analýza na přechodu nebyla realizována, neboť byla komunikace v době měření mokrá a tím by došlo k velkému zkreslení výsledných jasů způsobených odrazem světla od mokré vozovky. Tím pádem by byly zkresleny i výsledky při následném vyhodnocování kontrastů. Reálná situace přechodu v době měření je zachycena v příloze na obr. 7.4.

Jasová analýza by se tedy měla vyhodnocovat nejlépe za úplného sucha, kdy pozemní komunikace a okolí nezpůsobuje zkreslení odrazem světla od mokré vozovky. Pro vyhodnocení jasové analýzy bylo provedeno ještě jedno kontrolní měření na přechodech pro chodce, které je probráno v následující kapitole 8.

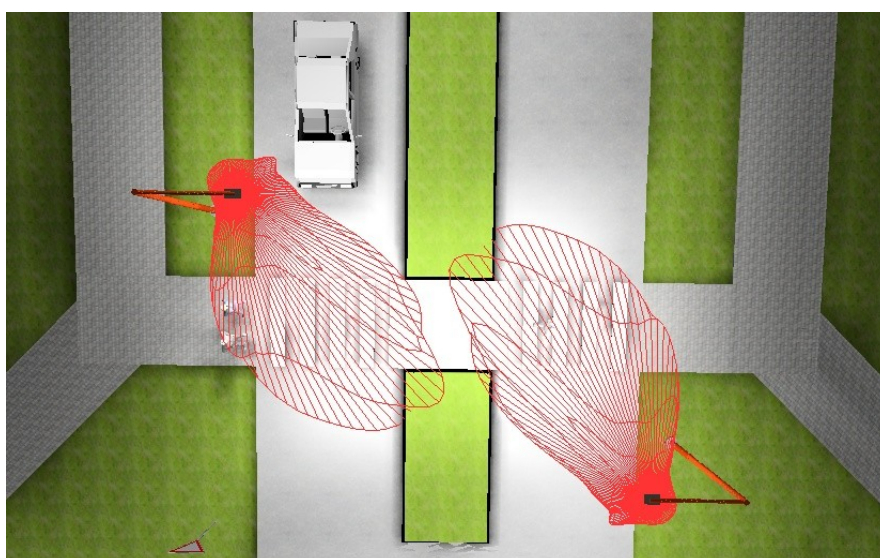
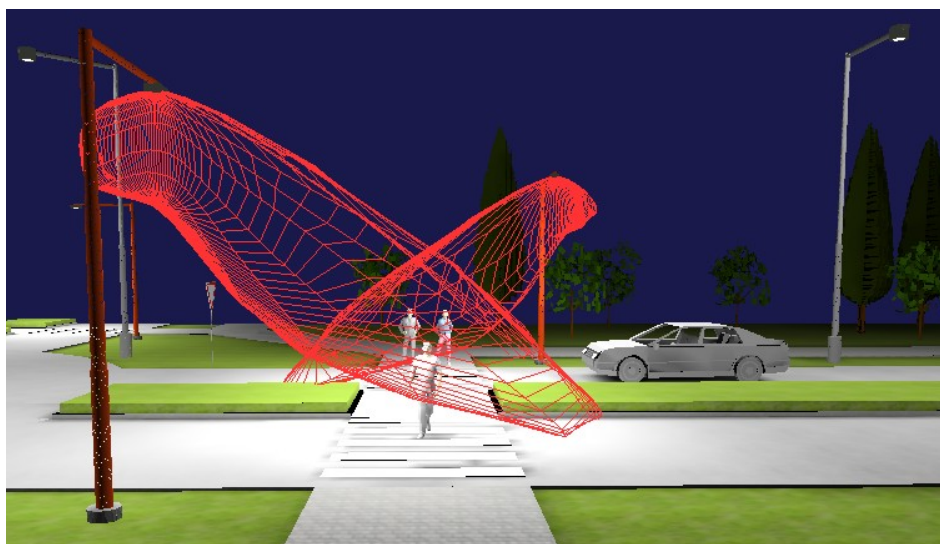
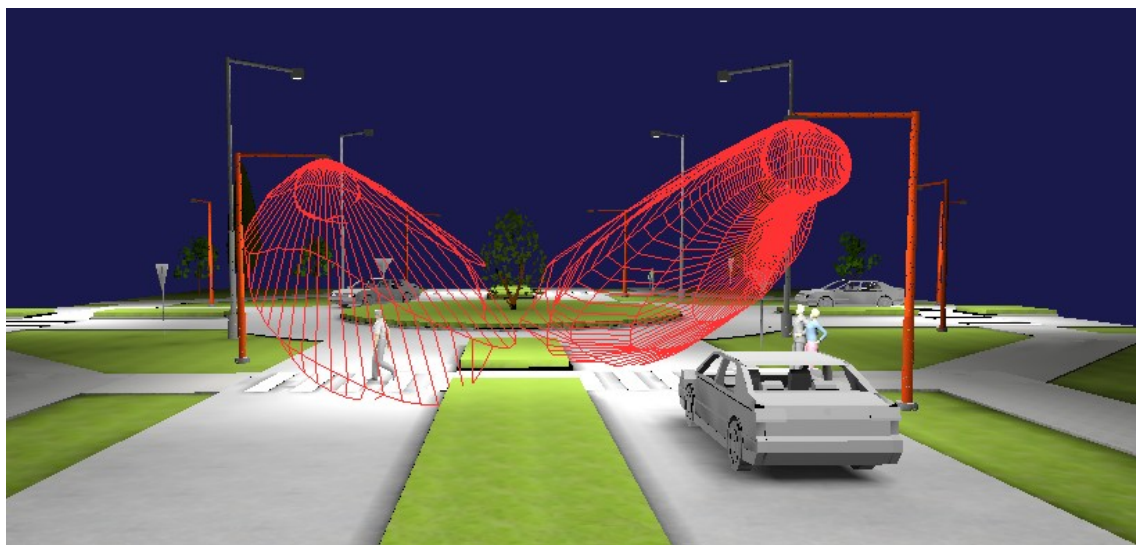
### 7.1.8 3D světelná scéna prostoru ve výpočtovém programu ReluxPro

Vizualizace prostoru přechodu pro chodce za použití výpočtového programu ReluxPro, kde jsou zachyceny různé pohledy na tento přechod v době, kdy se na něm nebo v jeho těsné blízkosti pohybují chodci. Z obrázků níže je tedy patrné, jaký vliv má použití svítidla s asymetrickou křivkou svítivosti, přesněji se jedná o svítidlo firmy CiviTEQ jehož katalogový list je uveden v příloze.



obr. 7.2: 3D světelná scéna





obr. 7.3: 3D světelná scéna

## 8 Ověření správnosti navržené osvětlovací soustavy - Kontrolní měření na přechodech u obchodního centra Avion

Bylo provedeno ještě jedno kontrolní měření navržené osvětlovací soustavy u obchodního centra Avion v Ostravě. Jednalo se o dva přechody pro chodce. Jeden z nich se nachází na jednosměrné silnici naproti prodejně Kika a druhý vedle prodejny Decathlon. I v těchto případech je pro každý z přechodů provedeno kontrolní měření horizontální a vertikální osvětlenosti a dále vyhodnocena jasová analýza.

Kontrolní měření osvětlovací soustavy proběhlo na přechodech pro chodce u obchodního centra Avion Shopping Park, Rudná 114, 700 30 Ostrava - Zábřeh – Ostrava - jih dne 30. 3. 2017 v čase od 21:00 do 22:30 při venkovní teplotě 16 °C. Jedná se o dva případy přechodů pro chodce, na kterých došlo k úpravám výložíků (obr. 8.9 v příloze) a výměně starých výbojkových svítidel za nové LED svítidla, z důvodu správného docílení světelných parametrů přechodu dle předpisu TKP pro zajištění dostatečné bezpečnosti chodců při přecházení těchto přechodů.



**obr. 8.1:** Lokalizace měřených přechodů pro chodce u obchodního centra Avion

Při následném vyhodnocování bylo využito stejných normovaných zdrojů jako v předchozím kontrolním měření.

## 8.1 Popis navržené venkovní osvětlovací soustavy - použitá technologie

Předmětem měření byly přechody pro chodce, na kterých došlo k úpravám výložníků a výměně starých výbojkových svítidel za nové LED svítidla, z důvodu správného docílení světelných parametrů přechodu dle předpisu TKP. Měřené přechody pro chodce se nachází u obchodního centra Avion Shopping Park, Rudná 114, 700 30 Ostrava – Zábřeh – Ostrava – jih viz obr. 8.1. Přechody pro chodce jsou osvětlovány svítidly typu A umístěnými ve výšce 6 m nad vozovkou a osvětlovací soustava komunikace, na které se měřené přechody nachází je realizovaná svítidly typu B (osvětlení adaptačních pásem) umístěnými ve výšce 12 m.

tab. 8.1: Použité svítidla a světelné zdroje

	SVÍTIDLO	SVĚTELNÝ ZDROJ
A	CiviTEQ	LED 77 W, $T_C = 4\,000\text{ K}$ , $R_a > 70$
B	neznámé	LED $T_C = 5\,500\text{ K}$ , $R_a = 70$

V době měření byla všechna svítidla a světelné zdroje plně funkční. Všechny světelné zdroje byly před samotným měřením v provozu déle jak 100 hodin. Pro přisvětlení přechodu pro chodce je využit speciální reflektor s plochým sklem, pro který je charakteristická asymetrická fotometrická křivka svítivosti, neboť tato je ideálním řešením pro osvětlování přechodů (katalogový list tohoto svítidla CiviTEQ je uveden v příloze). Při použití svítidla s plochým sklem je tedy zaručena minimalizace množství rušivého světla vyzařující směrem k řidiči.

## 8.2 Postup měření

Měření bylo prováděno ve večerních hodinách, aby se vyloučil vliv denního osvětlení. Svítidla byla před vlastním měřením 20 minut v provozu, proto bylo možné považovat světelný tok za stabilizovaný. Venkovní teplota během měření byla  $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Na ploše měřené komunikace a přechodu byly vymezeny sítě rovnoměrně rozložených měřících bodů dle předpisu TKP 15.

Hodnoty osvětlenosti komunikace byly měřeny přímo na vozovce (výška srovnávací roviny 0 m). Přechod pro chodce byl měřen dle předpisu TKP kapitola 15, kde byly měřeny vertikální osvětlenosti ve výšce 1 m nad vozovkou podle směru jízdy řidiče a dále horizontální osvětlenosti měřené ve výšce 0 m nad povrchem vozovky. Z naměřených hodnot pak byly vypočteny průměrné hodnoty osvětleností a rovnoměrností osvětlenosti ze vztahů, uvedených v podkapitole 7.1.2.

Nejistota měření byla vyjádřena jako rozšířená standardní nejistota  $U$  s koeficientem rozšíření  $k = 2$ , což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí 95 % a je stanovena na  $\pm 10\%$ . Naměřené a vypočtené hodnoty jsou uvedeny v následujících tabulkách.


### 8.3 Naměřené a vypočtené hodnoty osvětlenosti na přechodu - Kika


Rozměry přechodu: délka 6 m x šířka 3 m

#### 8.3.1 Vertikální osvětlenosti

tab. 8.2: Naměřené hodnoty vertikální osvětlenosti

Nástup 1		Přechod		Nástup 2
54	78	98	109	92
49	70	90	98	85
41	59	81	85	79

směr jízdy 

 svítidlo A

tab. 8.3: Vypočtené hodnoty vertikální osvětlenosti


Prostor	$E_m$ (lx)	$E_{min}$ (lx)	$U_0$ (-)
nástup 1	38,4	32,8	0,85
přechod	68,3	47,2	0,69
nástup 2	68,3	63,2	0,93


Pozn. Vypočtené hodnoty jsou přepočítány pomocí udržovacího činitele  $z = 0,8$

#### 8.3.2 Horizontální osvětlenosti

tab. 8.4: Naměřené hodnoty horizontální osvětlenosti

Nástup 1		Přechod		Nástup 2
60	74	83	88	77
62	76	92	95	86
60	76	93	101	88

směr jízdy 

 svítidlo A

tab. 8.5: Vypočtené hodnoty horizontální osvětlenosti

Prostor	$E_m$ (lx)	$E_{min}$ (lx)	$U_0$ (-)
nástup 1	48,5	48	0,99
přechod	69,2	59,2	0,86
nástup 2	66,9	61,6	0,92

Pozn. Vypočtené hodnoty jsou přepočítány pomocí udržovacího činitele  $z = 0,8$

### 8.3.3 Výsledky měření horizontální a vertikální osvětlenosti přechodu

tab. 8.6: Výsledky měření horizontální a vertikální osvětlenosti přechodu

Prostor	Vertikální osvětlenost		Horizontální osvětlenost	
	Osvětlenost $E_m$ (lx)	Rovnoměrnost $U_0$ (-)	Osvětlenost $E_m$ (lx)	Rovnoměrnost $U_0$ (-)
Nástup 1	38,4	0,85	48,5	0,99
Přechod	68,3	0,69	69,2	0,86
Nástup 2	68,3	0,93	66,9	0,92

tab. 8.7: Výsledky měření horizontální osvětlenosti adaptačních pásů

Měřený referenční úsek	$E_m$ (lx)	$E_{min}$ (lx)	$U_0$ (-)
Před přechodem	23,1	17,6	0,76
Za přechodem	23,9	18,2	0,76

Pozn. Hodnoty uvedené v tabulce jsou již přepočítány pomocí udržovacího činitele  $z = 0,8$

tab. 8.8: Požadované hodnoty udržovaných osvětleností dle předpisu TKP 15, které jsou zvoleny dle úrovně osvětlení adaptačních pásů

Udržovaná hodnota stávajícího osvětlení		Udržovaná průměrná svislá osvětlenost E <sub>m</sub> (lx)		
jasu povrchu pozemní komunikace/pozadí (cd·m <sup>-2</sup> )	horizontální osvětlenosti pozemní komunikace (lx)	nejnižší		nejvyšší
		prostor		všechny prostory
		základní	doplňkový	
1,5 ≤ L̄	50 ≤ Ē	přisvětlení se nezřizuje		
1,0 ≤ L̄ < 1,5	30 ≤ Ē < 50	75	50	200
0,75 ≤ L̄ < 1,0	20 ≤ Ē < 30	50	30	150
0,5 ≤ L̄ < 0,75	10 ≤ Ē < 20	30	20	100
L̄ < 0,5	Ē < 10	15	10	50



## 8.4 Jasová analýza chodce na přechodu pro chodce – prodejna Kika

Pro objektivnější posouzení nasvětlení přechodu byla na přechodu provedena jasová analýza chodce v požadovaných směrech jízdy, kde je rovněž posouzen a vyhodnocen kontrast jasů mezi přechodem pro chodce a pozadím, a mezi chodcem a pozadím.

### 8.4.1 Nastavení jasového analyzátoru

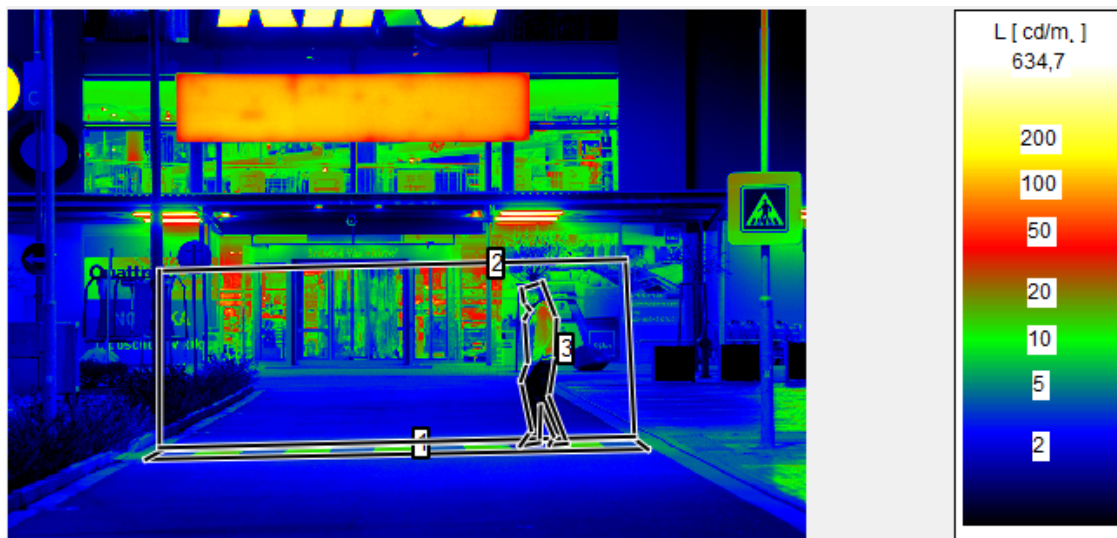
Pro pořízení jasového snímku bylo využito softwarově upraveného fotoaparátu s dlouhým objektivem. Fotoaparát byl přepnut v režimu MANUAL pro ruční nastavení všech potřebných parametrů pro měření jasové analýzy.

Nastavení parametrů bylo následující: clona F4, citlivost čipu ISO 200, čas uzávěrky  $\frac{1}{8}$  s.

Pro nízké jasy byl využit dlouhý čas uzávěrky – světlo dopadá na čip fotoaparátu a ten je pak schopen zachytit i ty nejnižší jasy.

### 8.4.2 Jasová analýza chodce na přechodu pro chodce

Pro objektivnější posouzení nasvětlení přechodu byla na přechodu provedena jasová analýza chodce z pohledu příjezdějícího řidiče k tomuto přechodu na měřené jednosměrné silnici.



obr. 8.2: Jasový snímek přechodu pro chodce ve směru jízdy

tab. 8.9: Naměřené hodnoty snímku jasové analýzy

Oblast	Minimální jas ( $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ )	Maximální jas ( $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ )	Průměrný jas ( $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ )
Přechod	0,34	16,82	6,85
Pozadí	0,27	475,60	6,31
Chodec	0,27	31,66	6,13

Výpočet kontrastu jasů mezi přechodem a pozadím a chodcem a pozadím

$$K_{PRECHOD-POZADÍ} = \frac{|L_{PR} - L_P|}{L_P} = \frac{|6,85 - 6,31|}{6,31} = 0,086$$

$$K_{CHODEC-POZADÍ} = \frac{|L_{CH} - L_P|}{L_P} = \frac{|6,13 - 6,31|}{6,31} = 0,029$$

$L_{CH}$  – jas chodce

$L_P$  – jas pozadí

$L_{PR}$  – jas přechodu

### Dílčí vyhodnocení k jasové analýze

V tomto případě je kontrast mezi přechodem a pozadím pozitivní, mezi chodcem a pozadím nastal kontrast negativní. Nicméně vypočtené hodnoty neodpovídají požadovaným hodnotám pro kontrast negativní v poměru 1:3 pro kontrast mezi chodcem a pozadím. Přisvětlení přechodu v tomto případě způsobilo, že je chodec pro řidiče vůči osvětlené ploše prodejny téměř nezpůsobitelný. Samozřejmě je to způsobeno barvou oděvu chodce, v tomto případě měl chodec na snímku světle šedou mikinu a černé kalhoty.

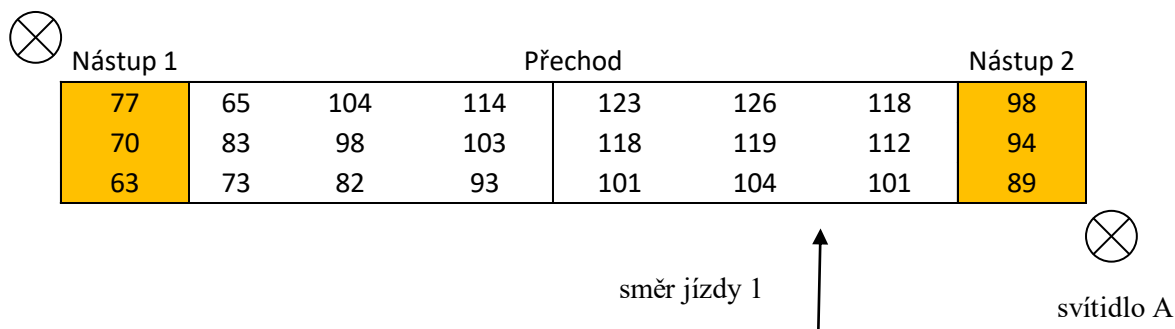
Reálná situace měřeného přechodu pro chodce ve směru jízdy řidiče k tomuto přechodu je zachycena na obr. 8.6 v příloze.

## 8.5 Naměřené a vypočtené hodnoty osvětleností na přechodu - Decathlon

Rozměry přechodu:                      délka 6 m                      x                      šířka 3 m

### 8.5.1 Vertikální osvětlenosti

**tab. 8.10:** Naměřené hodnoty vertikální osvětlenosti pro směr jízdy 1  
svítidlo A

	Nástup 1				Přechod			Nástup 2
	77	65	104	114	123	126	118	98
	70	83	98	103	118	119	112	94
	63	73	82	93	101	104	101	89

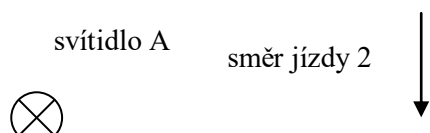
**tab. 8.11:** Vypočtené hodnoty vertikální osvětlenosti pro směr jízdy 1

Prostor	$E_m$ (lx)	$E_{min}$ (lx)	$U_0$ (-)
<b>nástup 1</b>	56,0	50,4	0,90
<b>přechod</b>	81,6	52	0,64
<b>nástup 2</b>	74,9	71,2	0,95

Pozn. Vypočtené hodnoty jsou přepočítány pomocí udržovacího činitele  $z = 0,8$


**tab. 8.12:** Naměřené hodnoty vertikální osvětlenosti pro směr jízdy 2

svítidlo A      směr jízdy 2



Nástup 1	Přechod						Nástup 2
83	95	95	94	87	73	64	60
96	110	110	104	95	85	71	59
97	114	115	107	100	85	75	62

svítidlo A


**tab. 8.13:** Vypočtené hodnoty vertikální osvětlenosti pro směr jízdy 2

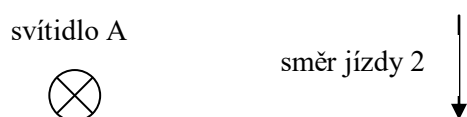
Prostor	$E_m$ (lx)	$E_{min}$ (lx)	$U_0$ (-)
<b>nástup 1</b>	73,6	66,4	0,90
<b>přechod</b>	74,6	51,2	0,69
<b>nástup 2</b>	48,3	47,2	0,98

Pozn. Vypočtené hodnoty jsou přepočítány pomocí udržovacího činitele  $z = 0,8$

### 8.5.2 Horizontální osvětlenosti

**tab. 8.14:** Naměřené hodnoty horizontální osvětlenosti


svítidlo A      směr jízdy 2



Nástup 1	Přechod						Nástup 2
135	148	160	165	162	153	135	120
130	149	161	165	166	160	142	125
125	141	157	164	165	160	147	130

svítidlo A

směr jízdy 1





**tab. 8.15:** Vypočtené hodnoty horizontální osvětlenosti

Prostor	$E_m$ (lx)	$E_{min}$ (lx)	$U_0$ (-)
<b>nástup 1</b>	104,0	100	0,96
<b>přechod</b>	124,4	108	0,87
<b>nástup 2</b>	100,0	96	0,96

Pozn. Vypočtené hodnoty jsou přepočítány pomocí udržovacího činitele  $z = 0,8$

### 8.5.3 Výsledky měření horizontální a vertikální osvětlenosti přechodu

**tab. 8.16:** Výsledky měření horizontální a vertikální osvětlenosti přechodu

Prostor	Vertikální osvětlenost (směr 1)		Vertikální osvětlenost (směr 2)		Horizontální osvětlenost	
	Osvětlenost $E_m$ (lx)	Rovnoměrnost $U_0$ (-)	Osvětlenost $E_m$ (lx)	Rovnoměrnost $U_0$ (-)	Osvětlenost $E_m$ (lx)	Rovnoměrnost $U_0$ (-)
<b>Nástup 1</b>	56,0	0,90	73,6	0,90	104,0	0,96
<b>Přechod</b>	81,6	0,64	74,6	0,69	124,4	0,87
<b>Nástup 2</b>	74,9	0,95	48,3	0,98	100,0	0,96

**tab. 8.17:** Výsledky měření horizontální osvětlenosti adaptačních pásů

Měřený referenční úsek	$E_m$ (lx)	$E_{min}$ (lx)	$U_0$ (-)
<b>Směr 1</b>	42,2	32	0,76
<b>Směr 2</b>	18,5	14,4	0,78

Pozn. Hodnoty uvedené v tabulce jsou již přepočítány pomocí udržovacího činitele  $z = 0,8$

**tab. 8.18:** Požadované hodnoty udržovaných osvětleností dle předpisu TKP 15, které jsou zvoleny dle úrovně osvětlení adaptačních pásů

Udržovaná hodnota stávajícího osvětlení		Udržovaná průměrná svislá osvětlenost $E_m$ (lx)		
jasu povrchu pozemní komunikace/pozadí ( $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ )	horizontální osvětlenosti pozemní komunikace (lx)	nejnižší		nejvyšší
		prostor		všechny prostory
		základní	doplňkový	
$1,5 \leq \bar{L}$	$50 \leq \bar{E}$	přisvětlení se nezřizuje		
$1,0 \leq \bar{L} < 1,5$	$30 \leq \bar{E} < 50$	75	50	200
$0,75 \leq \bar{L} < 1,0$	$20 \leq \bar{E} < 30$	50	30	150
$0,5 \leq \bar{L} < 0,75$	$10 \leq \bar{E} < 20$	30	20	100
$\bar{L} < 0,5$	$\bar{E} < 10$	15	10	50

## 8.6 Jasová analýza chodce na přechodu pro chodce – prodejna Decathlon

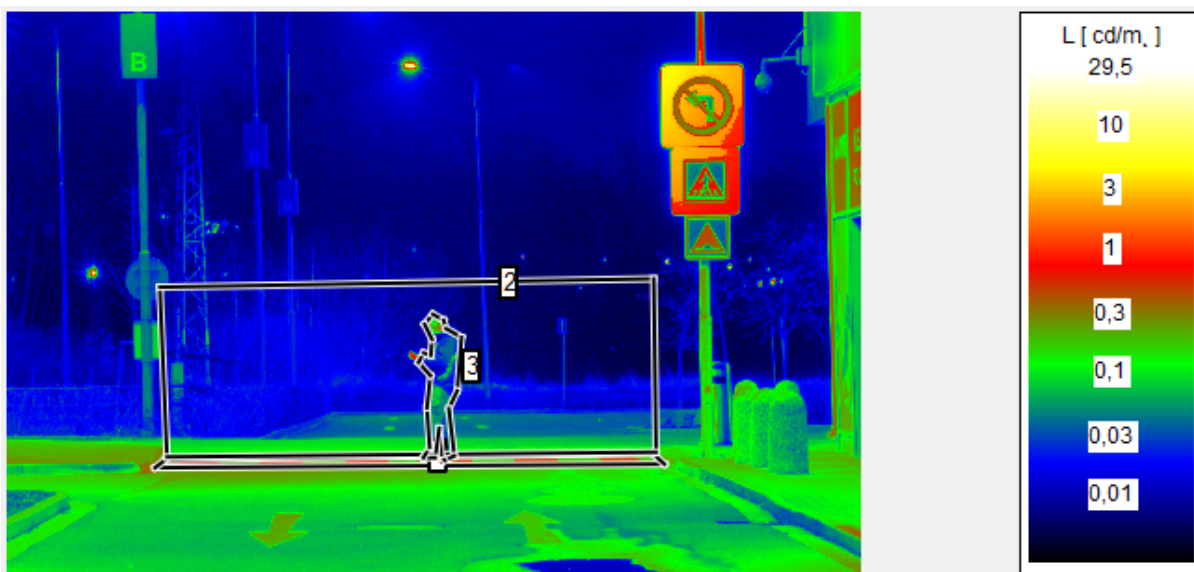
Pro objektivnější posouzení nasvětlení přechodu byla na přechodu provedena jasová analýza chodce v požadovaných směrech jízdy, kde je rovněž posouzen a vyhodnocen kontrast jasů mezi přechodem pro chodce a pozadím, a mezi chodcem a pozadím.

### 8.6.1 Nastavení jasového analyzátoru

Nastavení jasového analyzátoru bylo totožné jako v předchozím kontrolním měření.

### 8.6.2 Jasová analýza chodce na přechodu pro chodce ve směru jízdy 1

Snímek pořízený jasovým analyzátozem, na němž je zachycena jasová analýza pro situaci, kdy chodec přechází přes inkriminovaný přechod pro chodce a řidič vozidla vyjíždí z parkoviště vedle prodejny Decathlon směrem k tomuto přechodu. Jedná se tedy o směr jízdy 1 označovaný v tabulkách pro toto měření.



obr. 8.3: Jasový snímek přechodu pro chodce ve směru jízdy 1

tab. 8.19: Naměřené hodnoty snímku jasové analýzy

Oblast	Minimální jas ( $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ )	Maximální jas ( $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ )	Průměrný jas ( $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ )
Přechod	0,03	0,71	0,34
Pozadí	0,004	10,79	0,03
Chodec	0,007	0,53	0,05

Výpočet kontrastu jasu mezi přechodem a pozadím a chodcem a pozadím

$$K_{PRECHOD-POZADÍ} = \frac{|L_{PR} - L_P|}{L_P} = \frac{|0,34 - 0,03|}{0,03} = 10,33$$

$$K_{CHODEC-POZADÍ} = \frac{|L_{CH} - L_P|}{L_P} = \frac{|0,05 - 0,03|}{0,03} = 0,67$$

$L_{CH}$  – jas chodce

$L_P$  – jas pozadí

$L_{PR}$  – jas přechodu

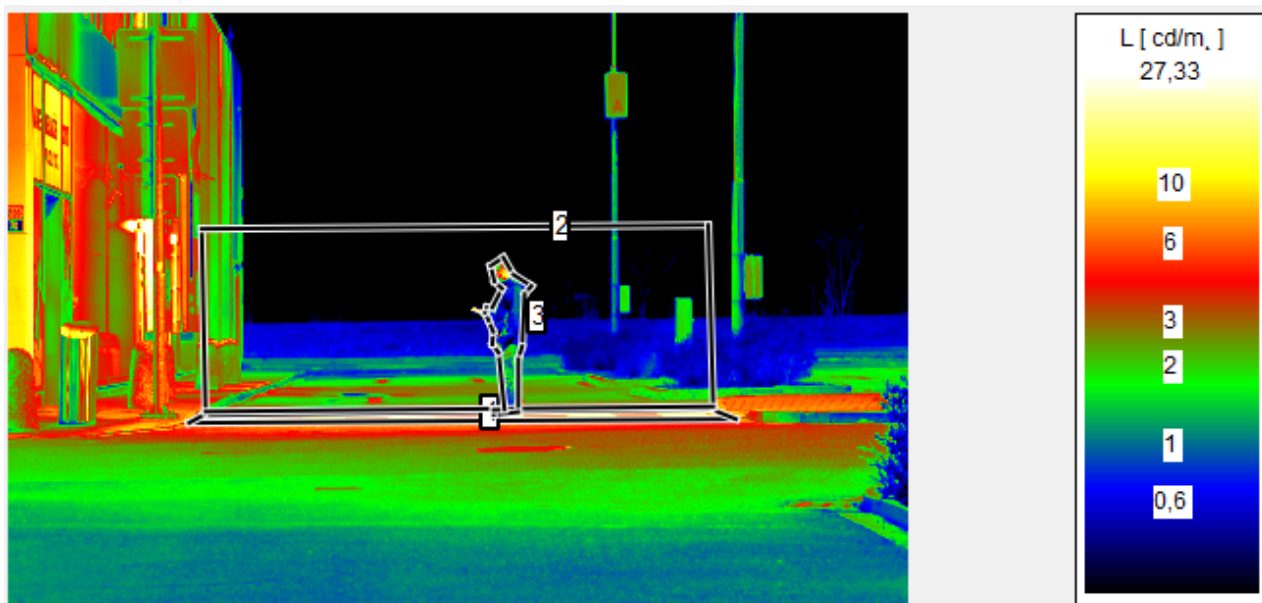
### Dílčí vyhodnocení k jasové analýze

V tomto případě se jedná o kontrasty pozitivní, nicméně vypočtené hodnoty neodpovídají požadovaným hodnotám kontrastu pozitivního v poměru 3:1 pro kontrast mezi chodcem a pozadím. Samozřejmě je to způsobeno barvou oděvu chodce, v tomto případě měl chodec na snímku černou bundu a tmavě modré kalhoty.

Reálná situace měřeného přechodu pro chodce ve směru jízdy řidiče k tomuto přechodu je zachycena na obr. 8.7 v příloze.

### 8.6.3 Jasová analýza chodce na přechodu pro chodce ve směru jízdy 2

Snímek pořízený jasovým analyzátozem, na němž je zachycena jasová analýza pro situaci, kdy chodec přechází přes inkriminovaný přechod pro chodce a řidič vozidla přijíždí na parkoviště vedle prodejny Decathlon směrem k tomuto přechodu. Jedná se tedy o směr jízdy 2 označovaný v tabulkách pro toto měření.



obr. 8.4: Jasový snímek přechodu pro chodce ve směru jízdy 2

tab. 8.20: Naměřené hodnoty snímku jasové analýzy

Oblast	Minimální jas (cd·m <sup>-2</sup> )	Maximální jas (cd·m <sup>-2</sup> )	Průměrný jas (cd·m <sup>-2</sup> )
<b>Přechod</b>	0,81	20,27	9,54
<b>Pozadí</b>	0,14	25,04	0,95
<b>Chodec</b>	0,22	17,20	1,44

Výpočet kontrastu jasů mezi přechodem a pozadím a chodcem a pozadím

$$K_{PRECHOD-POZADÍ} = \frac{|L_{PŘ} - L_P|}{L_P} = \frac{|9,54 - 0,95|}{0,95} = 9,04$$

$$K_{CHODEC-POZADÍ} = \frac{|L_{CH} - L_P|}{L_P} = \frac{|1,44 - 0,95|}{0,95} = 0,52$$

$L_{CH}$  – jas chodce

$L_P$  – jas pozadí

$L_{PŘ}$  – jas přechodu

#### Díličí vyhodnocení k jasové analýze

I v tomto případě se jedná o kontrasty pozitivní, nicméně vypočtené hodnoty opět neodpovídají požadovaným hodnotám kontrastu pozitivního v poměru 3:1 pro kontrast mezi chodcem a pozadím. Samozřejmě je to i u této situace způsobeno barvou oděvu chodce, v tomto případě měl chodec na snímku černou bundu a tmavě modré kalhoty.

Reálná situace měřeného přechodu pro chodce ve směru jízdy řidiče k tomuto přechodu je zachycena na obr. 8.8 v příloze.

## 8.7 Použité měřicí přístroje při měřeních

### Luxmetr RadioLux 111

Rozsah:	0,001lx ÷ 360 klx ve 3 rozsazích
Výrobce:	PRC Krochmann
Sériové číslo:	100612
Přesnost:	± (2 % MH)



### Voltmetr MX 44

Rozsah:	750 V~
Výrobce:	ITT instruments
Výrobní číslo:	92 50 4988 0166



### Jasový analyzátor LMK Mobile advanced

Rozsah:	0,3 cd·m <sup>-2</sup> ÷ 50 000 kcd·m <sup>-2</sup>
Výrobní číslo:	2380521307
Rozšířená nejistota měření:	4,7%



### Spektrofotometr EVERFINE SPIC 200

Tento spektrofotometr byl využit pro měření:

- osvětleností
- náhradní teploty chromatičnosti
- indexu podání barev



obr. 8.5: Použité měřicí přístroje [24]

## 9 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo provést návrh a kontrolní měření navržené osvětlovací soustavy pro zajištění bezpečnosti chodců na přechodech pro chodce. Byly tedy provedeny 3 kontrolní měření na třech navržených osvětlovacích soustavách sloužících pro přisvětlení daného přechodu pro chodce. Dále byla provedena celková vyhodnocení a případná doporučení vycházející z kontrolních měření.

Co se týče kontrolovaného přechodu pro chodce ve Valašském Meziříčí, je vyhodnocení osvětlovací soustavy přisvětlující tento přechod následující. Osvětlení přechodu pro chodce na ulici Vsetínská ve Valašském Meziříčí splňuje požadavky dle předpisu TKP 15 na udržovanou průměrnou vertikální osvětlenost a celkovou rovnoměrnost ve všech částech přechodu, kromě prostoru středového dělicího pásu, čili ostrůvku. V tomto případě nebyl splněn požadavek na průměrnou vertikální osvětlenost ve směru jízdy 1. Zlepšení parametrů osvětlení by bylo možné docílit případným prodloužením výložníků na levé straně přechodu dle obr. 7.4 v příloze přibližně o půl metru. Tato hodnota vertikální osvětlenosti nebyla splněna z toho důvodu, že z konstrukčních důvodů nebylo možné svítidla umístit do stejné pozice jako ve výpočtu v programu ReluxPro. Na základě vyhodnocení naměřených hodnot osvětlení tohoto přechodu lze konstatovat, že osvětlení přechodu zvyšuje viditelnost chodců na přisvětlovaném přechodu.

Poměr náhradních teplot chromatičnosti vzhledem k neznámým typům světelných zdrojů není možné určit. Subjektivním hodnocením z fotografie pořízené z místa měření lze říci, že jak světelný zdroj použitý pro přisvětlení přechodu pro chodce, tak i světelný zdroj adaptačního pásma mají přibližně stejnou hodnotu teploty chromatičnosti a to okolo 5 000 K. Dle předpisu TKP 15 zde není splněn požadavek na vznik barevného kontrastu, který se doporučuje alespoň v poměru 1:1,5. Nedochází zde tedy k vygenerování barevného kontrastu a tudíž ani k barevnému odlišení přechodu od zbytku komunikace, která je osvětlena pouze veřejným osvětlením. Při detailnějším rozboru navržené osvětlovací soustavy lze z výsledků měření konstatovat, že horizontální osvětlenost na přechodu dosahuje hodnot okolo 100 lx, což je přibližně desetinásobek hodnot osvětlenosti adaptačních pásem. Tento rozdíl je již příliš vysoký a může způsobovat situace, že se oči řidiče adaptují na vysoký jas přechodu a řidič pak nebude schopen rozeznávat překážky za přechodem i před přechodem. Omezení tohoto nepříznivého jevu a zároveň zvýšení vertikální osvětlenosti chodce z pohledu řidiče lze dosáhnout umístěním svítidel dále od přechodu. Tímto dojde ke zvýšení vertikální osvětlenosti a snížení horizontální osvětlenosti na přechodu pro chodce. Toho však bude docíleno za použití svítidel s asymetrickou vyzařovací charakteristikou nasměrovanou ve směru jízdy řidiče, jak je tomu naznačeno v kapitole 7, označené 3D světelná scéna z výpočtového programu ReluxPro.

Jako další bylo provedeno kontrolní měření v Ostravě u obchodního centra Avion Shopping Park u dvou přechodů pro chodce, kde již byly instalovány svítidla s požadovanou asymetrickou křivkou svítivosti určené právě pro přisvětlování přechodů pro chodce. U obou těchto kontrolovaných přechodů opět není dodržen volbou zvolených svítidel poměr náhradních teplot chromatičnosti. Nedochází zde tedy k vygenerování barevného kontrastu a tudíž ani k barevnému odlišení přechodu od zbytku komunikace, která je osvětlena pouze veřejným osvětlením.

Jako první je vyhodnocen přechod nacházející se na jednosměrné silnici před prodejnou Kika. Tento přechod na základě naměřených a vypočtených hodnot splňuje požadavky dle předpisu TKP 15 na udržovanou průměrnou vertikální osvětlenost a celkovou rovnoměrnost osvětlenosti ve všech částech přechodu pro chodce, tzn. jak pro prostor základní, tak i pro oba prostory doplňkové. Na základě vyhodnocení naměřených hodnot osvětlení tohoto přechodu lze konstatovat, že osvětlení přechodu pro chodce zvyšuje viditelnost na tomto přechodu.

Jelikož se jednalo o případ jednosměrné silnice, byl zde pořízen jasový snímek pouze v jednom směru, tedy ve směru příjezdějího řidiče k tomuto přechodu. Jak je patrné ze snímku jasové analýzy zachyceném na obr. 8.2, nachází se v pozadí za přecházejícím chodcem v zorném poli řidiče nasvětlená plocha prodejny Kika, která snižuje kontrast mezi chodcem a pozadím na takovou míru, že se při zapnutém osvětlení v této prodejně a zapnutém přisvětlení přechodu vygeneruje téměř nulová hodnota kontrastu mezi chodcem a tímto pozadím. Je nutno podotknout, že byl figurant na přechodu pro chodce v době pořízení jasového snímku oblečen do černých kalhot a světle šedé mikiny. I přes to je přisvětlení tohoto přechodu velmi důležité zejména v případě, že by došlo k situaci, kdy by prodejna Kika osvětlena nebyla. V tomto případě by pak chodec za absence tohoto přisvětlení přechodu byl velmi těžko identifikovatelný. Přisvětlení přechodu je tedy realizováno pro nejkritičtější možnou situaci, která by mohla při absenci osvětlení prodejny nastat.

Na základě vyhodnocení jasové analýzy snímku přechodu, která byla provedena při zapnutém osvětlení přechodu lze konstatovat, že osvětlení přechodu zvyšuje viditelnost chodců nacházejících se na tomto přechodu. Adaptační pásma před i za přechodem jsou nasvětlena v dostatečném rozsahu. Výsledky jasové analýzy jasně ukazují na fakt, že je viditelnost chodce na přechodu výhradně podmíněna barvou a odraznými vlastnostmi oděvu samotného chodce.

Jako poslední bylo v této diplomové práci provedeno kontrolní měření na přechodu pro chodce, nacházejícího se rovněž u obchodního centra Avion Shopping Park, přesněji u parkoviště a prodejny Decathlon. I tento kontrolovaný přechod pro chodce splňuje na základě naměřených a vypočtených údajů požadavky předpisu TKP 15 na udržovanou průměrnou vertikální osvětlenost a celkovou rovnoměrnost ve všech částech přechodu pro chodce, tzn. jak pro prostor základní, tak i pro oba prostory doplňkové. Na základě vyhodnocení naměřených hodnot osvětlení přechodu lze opět konstatovat, že osvětlení tohoto přechodu pro chodce zvyšuje viditelnost na tomto přechodu.

I zde byl pořízen jasový snímek pro každý ze směrů jízdy řidiče k tomuto přechodu, z nichž byla následně provedena jasová analýza. Pro oba dva směry jízdy se jedná o vysoký pozitivní kontrast mezi přechodem a pozadím, neboť je pozadí nacházející se za chodcem tvořeno velmi tmavou plochou. Co se týče kontrastu mezi chodcem a pozadím, tento nebyl docílen v požadovaném poměru pro pozitivní kontrast 3:1, neboť byl figurant nacházející se v době pořízení jasového snímku oblečen v tmavě modrých kalhotách a černé bundě.

Na základě vyhodnocení jasové analýzy snímků přechodu, která byla provedena při zapnutém osvětlení přechodu lze konstatovat, že osvětlení přechodu zvyšuje viditelnost chodců nacházejících se na tomto přechodu. Adaptační pásma před i za přechodem jsou nasvětlena v dostatečném rozsahu. I v tomto případě samozřejmě výsledky jasové analýzy jasně ukazují na fakt, že je viditelnost chodce na přechodu výhradně podmíněna barvou a odraznými vlastnostmi oděvu samotného chodce.

V současné době se začíná pracovat na projektech, ve kterých se uvažuje, jakým způsobem ještě více zajistit bezpečnost chodců na přechodech pro chodce pomocí osvětlovacích soustav. Přesněji se jedná o zavedení telekomunikace, kdy se budou přenášet informace pomocí světelného paprsku mezi osvětlovací soustavou na přechodu pro chodce a vozidlem řidiče, který bude předem varován o identifikaci objektu (chodce) nacházejícího se ve směru jízdy řidiče.

Jako velký přínos na základě vypracování této diplomové práce si odnáším to, že jsem se dostal hlouběji do problematiky osvětlovací techniky, kde jsem se naučil pracovat a měřit s měřicími přístroji jako je luxmetr, spektrofotometr a jasový analyzátor. Na základě naměřených dat jsem se naučil vyhodnocovat jasovou analýzu pomocí software LMK LabSoft. Taktéž jsem si rozšířil znalosti při návrhu osvětlovací soustavy ve výpočtovém programu ReluxPro. Rovněž můžu říci, že osvětlovací technika je to, čím bych se chtěl v budoucnosti živit.



## 10 Literatura

- [1] Jiří Habel, Karel Dvořáček, Vladimír Dvořáček, Petr Žák. Světlo a osvětlování. FCC Public s. r. o., Praha, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3
- [2] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA ČSN 36 0455. Osvětlení pozemních komunikací – Doplnující informace – Předpis TKP 15 – Dodatek č. 1
- [3] Vlastimil Rábek. Vnímání a rozhodování účastníků silničního provozu – denní doba. PROPERUS s. r. o., Olomouc, 2014. ISBN 978-80-904944-2-8
- [4] csorsostrava.cz. Karel Sokanský a kol. Vývoj metodik pro nasvětlování přechodů pro chodce pomocí nových LED technologií za účelem zvýšení jejich bezpečnosti [online]. 2016 [cit. 2016-12-16]. Dostupné z WWW:  
<[http://www.csorsostrava.cz/publikace/Vyvoj\\_metodik\\_pro\\_nasvetlovani\\_prechodu\\_pro\\_chodce\\_pomoci\\_novych\\_LED\\_techologii\\_za\\_u%C4%8Delem\\_zvyseni\\_jejich\\_bezpe%C4%8Dnosti/V%C3%BDvoj%20metodik%20pro%20nasv%C4%9Btlov%C3%A1n%C3%AD%20p%C5%99echod%C5%AF%20pro%20chodce.pdf](http://www.csorsostrava.cz/publikace/Vyvoj_metodik_pro_nasvetlovani_prechodu_pro_chodce_pomoci_novych_LED_techologii_za_u%C4%8Delem_zvyseni_jejich_bezpe%C4%8Dnosti/V%C3%BDvoj%20metodik%20pro%20nasv%C4%9Btlov%C3%A1n%C3%AD%20p%C5%99echod%C5%AF%20pro%20chodce.pdf)>
- [5] Karel Sokanský a kol. Světelná technika. České vysoké učení technické v Praze. Praha, 2011. ISBN 978-80-01-04941-9
- [6] astro.cz. Spektrální citlivost lidského zraku [online]. 2016 [cit. 2016-12-16]. Dostupné z WWW:  
<<http://www.astro.cz/clanky/svetelne-znecisteni/volba-svetelneho-zdroje-z-pohledu-jeho-vlivu-na-svetelne-znecisteni.html>>
- [7] ekosvetlo.cz. Světelné zdroje [online]. 2016 [cit. 2016-12-16]. Dostupné z WWW:  
<<http://www.ekosvetlo.cz/cs/aktualni-informace/svetelne-zdroje-nejvyssi-kvality-za-nejlepsi-ceny-na-trhu/>>
- [8] empemont.cz. Svítidlo veřejného osvětlení [online]. 2016 [cit. 2016-12-16]. Dostupné z WWW:  
<<http://www.empemont.cz/led-verejne-osvetleni.htm?product=41>>
- [9] slideplayer.cz. Prostorový úhel [online]. 2017 [cit. 2017-2-17]. Dostupné z WWW:  
<<http://slideplayer.cz/slide/11226561/>>
- [10] elektrika.cz. Základy světelné techniky [online]. 2017 [cit. 2017-2-17]. Dostupné z WWW:  
<<http://elektrika.cz/data/clanky/srvo-zaklady-svetelne-techniky>>
- [11] wikiskripta.eu. Akomodace oka [online]. 2017 [cit. 2017-2-17]. Dostupné z WWW:  
<<http://www.wikiskripta.eu/index.php/Akomodace>>
- [12] gamepark.cz. Zorné pole [online]. 2017 [cit. 2017-2-17]. Dostupné z WWW:  
<[http://www.gamepark.cz/par\\_informaci\\_o\\_optickych\\_klamech\\_245020.htm](http://www.gamepark.cz/par_informaci_o_optickych_klamech_245020.htm)>

- [13]chatar-chalupar.cz. Oslnění [online]. 2017 [cit. 2017-2-17]. Dostupné z WWW:  
<<http://www.chatar-chalupar.cz/jizda-automobilem-v-noci-aneb-kdyz-padne-tma/>>
- [14]altima.cz. Zajištění bezpečnosti – reflexní prvky [online]. 2017 [cit. 2017-2-17]. Dostupné z WWW: <<http://www.altima.cz/clanek/8-proc-reflexni-prvky.html>>
- [15]artehnic-schreder.cz. Svítidlo MC Zebra [online]. 2017 [cit. 2017-2-17]. Dostupné z WWW:  
<<http://artehnic-schreder.cz/mc2-zebra/>>
- [16]moderniobec.cz. Chyby při umístování svítidel [online]. 2017 [cit. 2017-2-17]. Dostupné z WWW: <<http://moderniobec.cz/osvetleni-prechodu-pro-chodce/>>
- [17]sciencetopia.net. Rušivé světlo [online]. 2017 [cit. 2017-2-17]. Dostupné z WWW:  
<<https://www.sciencetopia.net/pollution/light/causes-effects>>
- [18]jablotrade.cz. Teplota chromatičnosti [online]. 2017 [cit. 2017-2-17]. Dostupné z WWW:  
<<http://www.jablotrade.cz/wp-content/uploads/2012/11/foto-str.%C4%8D.1uvod.jpg>>
- [19]philips.cz. Index podání barev [online]. 2017 [cit. 2017-2-17]. Dostupné z WWW:  
<<http://www.philips.cz/c-m-li/led-lights/quality-of-light-led-lighting>>
- [20]trevos.cz. Křivky svítivosti [online]. 2017 [cit. 2017-2-17]. Dostupné z WWW:  
<<http://www.trevos.cz/pixel-led-p178362.htm>>
- [21]brnenskadrba.cz. Negativní kontrast chodce [online]. 2017 [cit. 2017-2-17]. Dostupné z WWW:  
<<http://www.brnenskadrba.cz/zpravy/spolecnost/4335-neviditelni-chodci-v-nebezpeci-v-noci-je-riziko-jejich-umrti-pri-dopravni-nehode-az-4x-vyssi-nez-za-dne.html>>
- [22]ukazatele-rychlosti.cz. Pozitivní kontrast chodce [online]. 2017 [cit. 2017-2-17]. Dostupné z WWW: <<http://ukazatele-rychlosti.cz/osvetleni-prechodu>>
- [23]electrosun.cz. Správně osvětlený přechod [online]. 2017 [cit. 2017-2-17]. Dostupné z WWW:  
<<http://www.electrosun.cz/html/osvetleniprechodu1.html>>
- [24]tidanis.com. Měřicí přístroj Everfine [online]. 2017 [cit. 2017-2-17]. Dostupné z WWW:  
<http://tidanis.com/produkte/produkte-everfine/messgeraete/spic-200-bw-beleuchtungsmessgeraet-everfine/everfine-spic-200-bw/>

## 11 Přílohy

### Fotodokumentace z terénu – přechod Valašské Meziříčí



obr. 7.4: Fotodokumentace z terénu

### Fotodokumentace z terénu – přechod Kika



obr. 8.6: Fotodokumentace z terénu

**Fotodokumentace z terénu – přechod Decathlon**

**SMĚR JÍZDY 1**



**obr. 8.7:** Fotodokumentace z terénu pro směr jízdy 1

**SMĚR JÍZDY 2**



**obr. 8.8:** Fotodokumentace z terénu pro směr jízdy 2

**Fotodokumentace z terénu – úprava výložíků**



**obr. 8.9:** Úprava výložíků